

# 沙漠研究

JOURNAL OF ARID LAND STUDIES

---

目 次

---

巻 頭 言 牛木久雄：砂漠化問題と沙漠開発

展望論文

平田昌弘・真常仁志・北川政幸・石田定顕・小崎 隆・宮崎 昭：  
カザフスタン共和国の家畜生産と農民経営の動向 ..... 125-134

原著論文・論説

Rupari DATTA and Sanjay KUMAR：水・塩ストレスによる  $\beta$  アミラーゼの導入  
ー乾燥・半乾燥地における栽培種の選択ー（英文） ..... 135-142

山田興一・小島紀徳・安部征雄・WILLIAMS, Aidrian・LAW, John：  
西オーストラリア、レオノラ近くの乾燥地における炭素貯留（英文） ..... 143-151

ムハタル チョン・五十嵐 保：衛星データから見た乾燥地域における環境変化  
ー中国のホタン川とヤルカント川下流域を例としてー（英文） ..... 153-167

松本 剛・小島紀徳・若林宏明：塩生バイオマス栽培への適用を目的とした  
砂層中の横方向飽和浸透流解析・実験 ..... 169-174

加藤和彦・福長 博・山田興一：村落地域における独立型小容量太陽光発電  
システムと小型エンジン発電システムのライフサイクル評価（英文） ..... 175-180

おあしす〔学会報告／会員のページ〕

## 砂漠化問題と沙漠開発

最近、国際協力事業団の若手職員と沙漠開発について議論する機会があった。沙漠開発の促進が今後も必要であるという私の意見に対して、彼は的外れにも「開発対象地の環境アセスメントと開発による影響評価を十分に行うことが開発実施の前提条件である。」と答えた。彼は出張帰りの時差ボケで実は上の空の対応をしていた訳だが、私にとっては昔学んだ沙漠論のひとつを思い出すきっかけとなった。

沙漠開発を論ずる場合、沙漠は開発にともなう環境保護地域に値するののかという問題提起があり、それに対する答えが問われる。しかし、「砂漠」化防止が必要なのだから、沙漠は人類にとって究極の敵対環境であり、沙漠はその意味で人類進出の開発対象地である。すなわち、極地とともに狭義の保護価値はなく、したがって問題提起そのものが的外れでおかしいという答えが一般的であろう。沙漠の価値を追及し、「砂漠化」の定義にまで遡って答えを検討するような人はごく稀である。しかしながら、1960年代までユネスコが進めていた「乾燥地帯研究Arid Zone Research」計画では沙漠にも環境破壊があるとし、沙漠環境は次のように論じられていた。すなわち、沙漠の環境破壊が進むと固有生物種数が急減し、もともと生物個体数が少ない環境が一層貧しくなるというのである。この場合、環境破壊は主として過放牧によって進行するとされた。当時ディズニーの自然ファンタジー映画「砂漠は生きている」が多くの人々を魅了していたこともあって、上記の沙漠環境論は大方の理解を得ていたように思われる。実際、筆者がルブアルハリ沙漠で体験した限りでは、ひと雨来た後の沙漠は生き物が湧き出るかの如き様相を示すことがあり、正に沙漠は生きているという観を持たざるを得なかった。しかしながら、沙漠は人類にとって宇宙空間にも匹敵する敵対的な環境である。生物相が貧困なこと、風化物の優勢な無機的地表であること等々、火星や月に限りなく近づく環境である。

だが驚くべきは、この環境に人類が棲息すべく挑戦を続けているという事実である。前出のルブアルハリにおいても、砂漠のど真ん中で頑張っているアラビア人がいる。そして、彼らは文明の面では少しも未開ではない。たまたま現在、文明の先端となっている技術社会から遠いというだけのことである。しかし冷たく言えば、現在頑張っている沙漠の民は、残念なことに数千年にわたってマンネリ化しているのである。挑戦意欲は今も衰えてはいないが、手持ちのアイデアは底をついている。それも数千年に及ぶ苦戦である。とはいえ、この連中の悪戦苦闘に感動し、その挑戦に一枚加わろうというのが、日本沙漠学会同輩諸氏の心意気ではないだろうか。沙漠開発によって、人類のフロンティアが新たに楽園として開かれるなら、人類史上それは画期的なことであり、我等の本望である。

筆者は、地球環境としての沙漠生態環境を否定するものではない。しかし、ものにはバランスが必要である。人類史上、地球環境としての沙漠と人類の棲息フロンティアとしての沙漠が二つながら存在してきた。そのことを、筆者は言いたいのである。この二者のバランスをこそ我が学会は追及しなければならない。

昨年我が国は「砂漠化対処条約」の締約国となった。今年度からは、いよいよ締約国としての真価を問われることになるだろう。その時に我が学会は学識集団としての責務を果たさなければならない。砂漠化対処条約は、リオデジャネイロの宣言からしても、恐らく被害者意識的に実施されて行くことになろう。しかも、砂漠化とは何か、それは定量化が出来るものなのか等々、懸案の問題は多い。とはいえ我が学会は、開発フロンティアとしての沙漠を程良く塩梅しつつ、より攻撃的に世間の期待に応えてゆかねばならない。

牛木久雄（JICA国際協力総合研修所）

## カザフスタン共和国の家畜生産と農民経営の動向

平田昌弘\*・真常仁志\*\*・北川政幸\*・石田定顕\*・小崎 隆\*\*・宮崎 昭\*

### 1. はじめに

1994年のカザフスタン共和国（以下、カザフスタンと略する）の人口は1,703万人である。国土面積は271.7万km<sup>2</sup>あり、世界第9番目の広さを持つ（二宮, 1997: 18-24）。つまり、日本の約7分の1の人口が、日本の約7倍もの広さの国土に居住していることになる。牧場および牧野の面積は国土の68.8%を占める。一方、農耕地面積は国土の12.9%に過ぎないが、日本の国土面積とほぼ同じほどの広さがある（表1）。特急列車でカザフスタンを南北に縦断しても1日余りもかかり、その車窓からは

広大な牧野、耕作地や休閑地が見られる。ソフホーズ・コルホーズなどでは穀物や飼料作物などが数千haの規模で栽培されてきた。カザフスタンの農耕や畜産はこの広大な国土と大規模経営に支えられて、ソ連邦時代から農作物や畜産物のソ連邦全体への生産供給地として発展してきた。

しかし、1991年のソ連邦崩壊以降（表2）、それまで順調に発展してきたカザフスタンの農業生産は停滞することになる。ソ連邦時代の共和国間分業の体制下では、カザフスタンはソ連邦構成諸国から資金、農業機械やガソリンなどの供給を受けて農業生産を行い、ソ連邦構成諸国へ農業生産物を供給していた。このようなソ連邦全体を覆う経済構造の一構成地域としての立場にあったカザフスタンでは、独立により国内の経済混乱が生じた。すなわち、資金とガソリンなどの必要物資の調達に十分にできなくなり、農業生産物の国内でのだぶつきを招いた。この状況下において、金銭の取引を伴わない物々交換（バーター取引）が取引の主流を占めるようになり、

表1. カザフスタンにおける1994年の土地利用。

	農耕地	牧場・牧野	森林地	その他	総面積
万 km <sup>2</sup>	35.0	186.8	9.6	40.3	271.7
%	12.9	68.8	3.5	14.5	100.0

（カザフスタン共和国国立統計委員会, 1996）

表2. カザフスタンの歴史。

16世紀前後	イスラム化
16世紀初頭	ウズベク族連合体から分離して遊牧民集団を形成（カザフ族の核となる）
17世紀	大・中・小の部族に分かれる
18世紀中頃	中国清朝の支配下に入る
1860年代	帝政ロシアの支配下に入る
1920年	カザフ共和国（はじめキルギス自治共和国）がロシア連邦共和国内に結成
1925年	カザフ自治共和国に改名
1936年	カザフ-ソビエト社会主義共和国としてソ連邦構成国の1つとなる
1950年代	処女地開拓時代、遊牧民の定住化政策
1960年代	カザフ-ソビエト社会主義共和国はソ連邦諸国への食糧供給基地となる
1990年	株式会社法成立
1990年10月	主権宣言
1991年12月16日	独立宣言（カザフスタン共和国に改名）
1992年	経済改革（ソフホーズ・コルホーズの民営化、土地の利用権の貸与）
1993年	税金化
1994年	農業改革（調達制度廃止）
1995年12月	土地の私有化
1997年12月	遷都（アルマティからアクモラへ）
1998年5月	首都アクモラがアスタナと改名

1991年の独立以前の資料は松原(1994)、独立以降は野辺公一氏からの聞き取りにより作成。

\* 京都大学大学院農学研究科応用生物科学専攻畜産資源学分野

（受付：1998年6月18日、受理：1999年4月6日）

\*\* 京都大学大学院農学研究科地域環境科学専攻土壌学分野

1995年に生産された穀物の約半分がバーター取引によって流通していた(図1)。バザールや外食産業への売却も見られるが、これらは主に友人や知人を頼っての流通となっている。

1992年に経済改革が行われ、ソフホーズやコルホーズの解体が開始された。労働者数に勤労年数を加味して、ソフホーズ・コルホーズ所属の土地の利用権が各個人<sup>1)</sup>に分配された。土地は政府の所有とし、個人に与えられたのは約100年間有効な土地の利用権であった。しかし、ソフホーズ・コルホーズ時代には各個人が極めて専門化した職務に就いていたため、独立するために必要な総合的技術と知識がないこと、土地が配分されても集落から離れていることなどにより、農民の独立した経営を当初阻害した。そこで、ソフホーズ・コルホーズが民営化したものの多くは生産協同組合<sup>2)</sup>を形成することになる。生産協同組合の役職はソフホーズ・コルホーズ時代の役職からの横溝りであり、農地面積や家畜頭数も改革前後でほとんど変りはなかった。ここに、ソフホーズ・コルホーズの民営化は単なる看板の掛け代えであった、と言われる由縁がある。しかし、独立した農民経営<sup>3)</sup>の数が1991年の約300から、1996年には39,980となり全経営数の85.6%を占めるに至り、着実に農民が独立してきていることがわかる(図2)。現在では、国営農業の数は595(1.3%)、コルホーズの数は219(0.5%)となり、ほとんど民営化されたことがうかがえる<sup>4)</sup>。

ところで、1950年代から始まる北部を中心とした穀物生産のための牧野開拓<sup>5)</sup>は、カザフスタンの家畜飼養に大きな影響を与えた。開拓以前は、牧野に依存した羊群の遊牧がカザフスタンでは中心的に行われていた。この開拓は、羊群から牧野を奪い、飼料の生産源としての農耕と家畜飼養が有機的に結び付くようになり、遊牧民は定着していった。開拓の中心であった北部においては

家畜の種類にも変化をきたし、羊の比重は低下し、カザフスタンにとっては比較的新しい家畜である牛、家禽および豚が主に飼養されるようになった。つまり、牧野開拓による家畜の種類と飼養形態の変化は、カザフスタンの畜産のロシア化であった(野部, 1989)。また、北部における羊の飼養頭数の減少は、開拓された牧野の南側の乾燥地域での大規模飼養によって補うものとされ、羊を飼養するソフホーズ・コルホーズの数が1953年の79から1958年には247へと急増した。その後、約30年にわたり穀物の大量生産や家畜の大規模飼養は発展してきた。しかし、1991年のソ連邦崩壊を受け、ソフホーズ・コルホーズの民営化が始まり、家畜を少頭数飼養する農民経営が誕生した。

我々が長年にわたり調査を続けてきた西アジアのシリア(日本の国土面積の約半分)と比較した場合、カザフスタンが乾燥地域に位置していることにおいてはシリアと共通しているが、「広大な国土」を持ち、「冷涼」な地域に位置している点においてはシリアと異なっている。広大な国土は飼料生産において潜在的に高い可能性を秘めているが、積雪で地表が覆われる時期が長くあることと冷涼な気候は必ずしも飼料生産にとって有利な条件ではない。このような広大な土地、気候条件、また、1991年以降の民営化の状況にあって、カザフスタンの家畜飼養の形態はいかなるものであろうか。本稿では、集団経営の中で専門化した仕事を担当していた人々が、自営者として家畜飼養を営んでいくために必要な設備、知識および経験を獲得し、独立していく過程を考察するために、農民経営における家畜飼養の事例について調査したので報告する。なお、南部と東部の山岳地帯では夏の山岳と冬の里での垂直的な移牧、乾燥地帯では夏のステップと

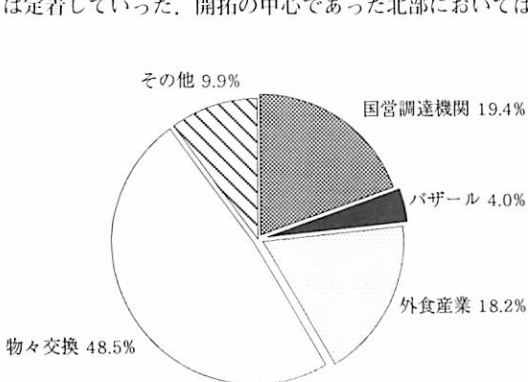


図1. カザフスタンにおける1995年に取引された穀物の流通経路とその割合。  
(カザフスタン共和国国立統計委員会, 1996)

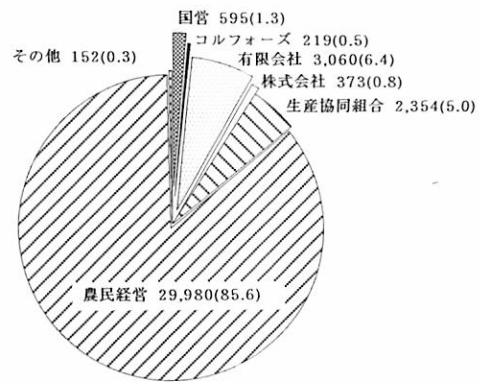


図2. カザフスタンにおける1996年の農業経営形態の種類と数(%). (カザフスタン共和国国立統計委員会, 1996)



冬の沙漠での水平的に移動する放牧などが見られるが、今回は定住して牧畜を営む農民経営に焦点をあてて飼養形態の調査を行った。カザフスタンの最近の農業生産の動向、飼料資源の種類と季節生産性についてまず触れた後、事例研究の検討を行う。

2. 農業生産の動向

1991年のソ連邦崩壊以来、カザフスタンの農業生産<sup>6)</sup>は減退を続けている。1990年の農業生産高は1,623億テンゲ<sup>7)</sup>であったが、1995年には860億テンゲとなり、この5年間で53%に農業生産が落ち込んでいる。特に、畜産の生産低下が著しく、1990年の990億テンゲが1995年には290億テンゲとなり、この5年間で71%低下した。農業生産に占める畜産の割合は1990年の61%から1995年の34%となった。1991年から1995年の間に、最も減少した家畜種は、鶏、豚そして羊であった(図3、図4)。それは、貸金や資金が不足した状況のもとで、村落の経済の主流は物々交換となり、その主要な交換財に家畜が用いられた結果であった。牛はカザフスタンの農民経営において収益性が高いため、交換財として利用されることは少なく、これらの家畜よりも減少程度は少なかったと考えられる。1991年から1995年にかけての農業経済改革は、飼養家畜構成比の著しい変化を起し、家畜頭数の全面的な減少をもたらした。

畜産物の生産量も減少し、1995年における食肉生産は99万トン、乳生産は462万トンとなり、1991年と比較すると食肉生産は65%、乳生産は83%に低下している(図5)。国民1人当たりの食肉と乳の生産量も減少傾向にあるが、1人当たりの消費量よりは上回っている(図

6)。畜産における生産量の低下は、飼養頭数が減少したことに加え、生産協同組合などの大規模畜産経営における収量の低下によって生じたものである。これは、大規模経営による畜産飼養が主に周年舎飼に依存した中で、飼料確保が不十分となったことにより家畜への飼料供給量が減少したためである。家畜に対する飼料供給量を大家畜1頭当たりに換算すると、1993年では1,690kg、1994年では1,310kg、1995年では1,150kgであった。

農作物の生産は降水量の年次変動により増減するため、その傾向を一概に評価することは難しい。しかし、穀物の生産量を単純比較すると、1995年においては1991年の25%、1992年の68%に減少している(図7)。穀物の栽培面積も、年々わずかに減少している。都市近郊の農耕地は耕作されているが、都市から少し離れると多くは休耕地となっている。放牧による飼料資源の利用の観点からすると、栽培面積の減少により、刈株やワラ

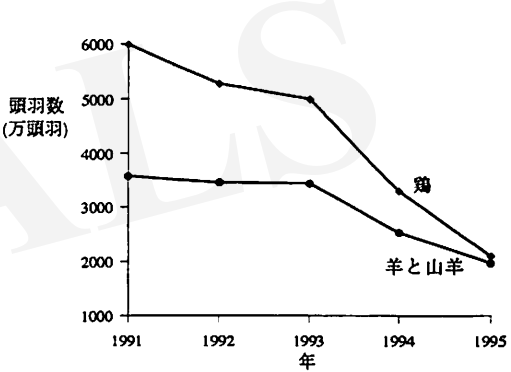


図4. カザフスタンにおける1991年から1995年の鶏、羊と山羊の頭羽数。(カザフスタン共和国国立統計委員会、1996)

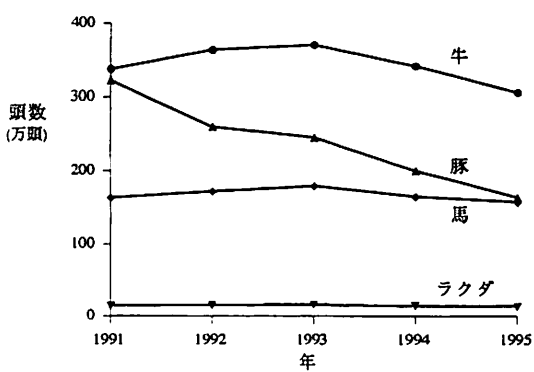


図3. カザフスタンにおける1991年から1995年の牛、豚、馬、ラクダの頭数。(カザフスタン共和国国立統計委員会、1996)

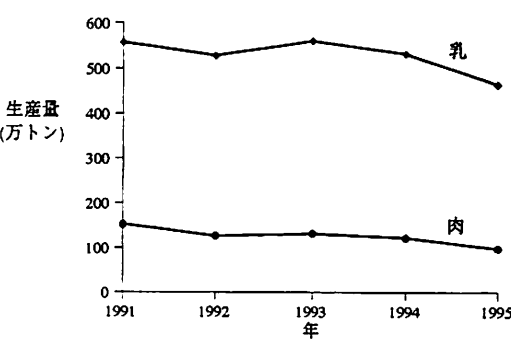


図5. カザフスタンにおける1991年から1995年の食肉と乳の生産量。(カザフスタン共和国国立統計委員会、1996)

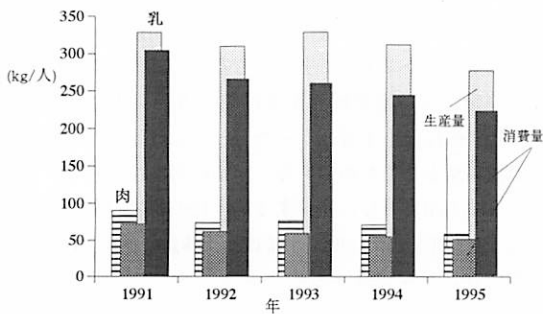


図6. カザフスタンにおける1991年から1995年の国民1人当たりの食肉と乳の生産量と消費量。(カザフスタン共和国国立統計委員会, 1996)

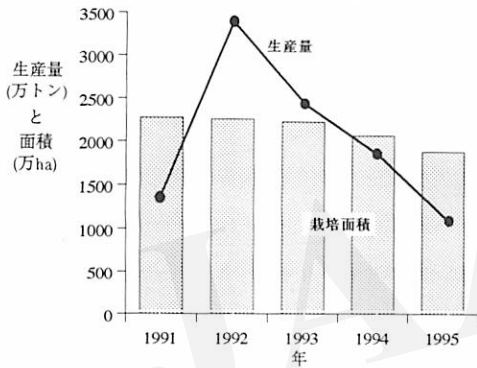


図7. カザフスタンにおける1991年から1995年の穀物の生産量と栽培面積。(カザフスタン共和国国立統計委員会, 1996)

などの農作物残渣利用は減少するものの、栽培面積の減少に伴い休閑地の面積は増加し、休閑地における雑草の利用度は高まるはずである。しかし、家畜頭数の減少により、その休閑地には主にイネ科の雑草が穂をつけたまま9月の時点でも残っており、休閑地ですら放牧に利用されことなく放置されているところが多く見られる状況にある。

全体的に農業活動が減退傾向にある中で、わずかながら活動を伸ばしているのが農民経営である。農民経営の生産高(農業生産に占める割合)は、1991年の5.8億テンゲ(0.4%)から1995年の25.8億テンゲ(3%)に増加している(カザフスタン共和国国立統計委員会, 1996)。

### 3. カザフスタンの南部と北部の降水量と気温

#### 1) 降水量

アラル海付近からバルハシ湖にかけてのカザフスタン中西部に、カザフスタンの中で最も乾燥している地域が広がり、年間降水量は150mm以下となっている(図8)。カザフスタン中部では年間降水量が主に200-350mm、カザフスタン北部では年間降水量が400mmを超える。カザフスタン南部と東部には天山山脈とアルタイ山脈の影響で年間降水量が1,000mmを超える地域もあり、そこでは森林地帯が形成されている。

カザフスタン南部では4月、5月の春と10月、11月の秋に比較的降水量が多く、カザフスタン北部では6月から8月にかけての夏に比較的降水量が多い(図9、図11)。

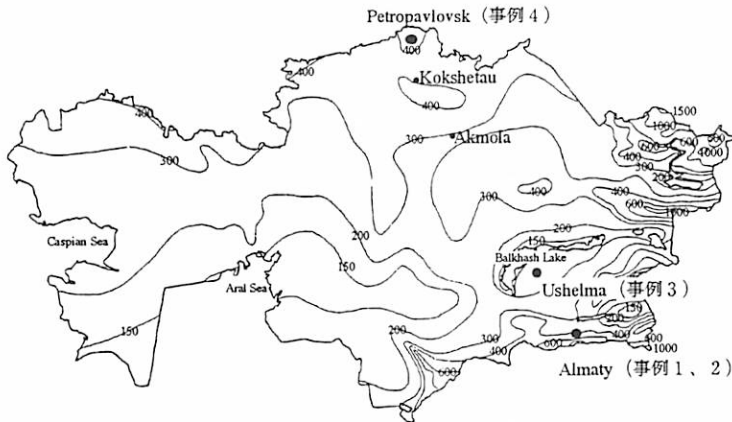


図8. カザフスタンの年間降水量(mm)。(カザフソビエト社会主義共和国地理局, 1982)

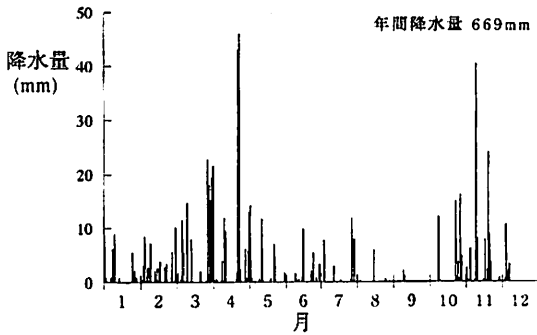


図9. アルマティ（カザフスタン南部）における1994年の降水量。（縄田，1996より改変）

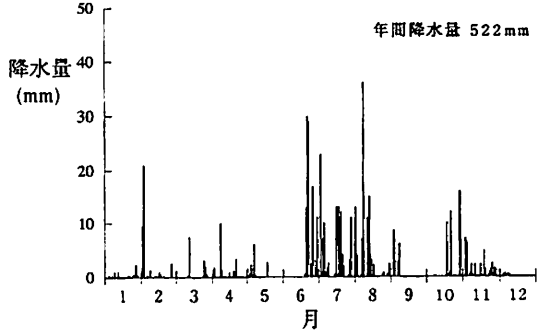


図11. コクシェタウ（カザフスタン北部）における1994年の降水量。（縄田，1996より改変）

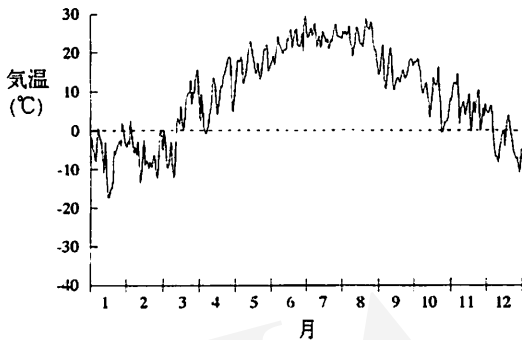


図10. アルマティにおける1994年の日平均気温。（縄田，1996より改変）

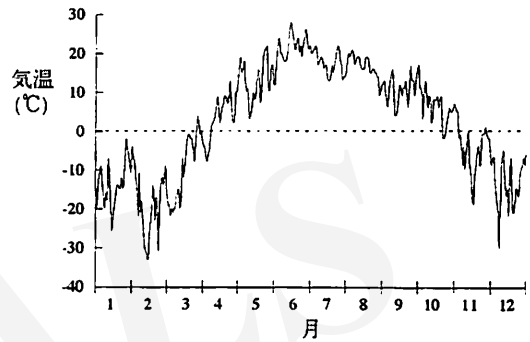


図12. コクシェタウにおける1994年の日平均気温。（縄田，1996より改変）

## 2) 気 温

カザフスタン南部（アルマティ）および北部（コクシェタウ）における1994年の日平均気温を図10および図11に示した。カザフスタン南部においては、3月中旬頃から平均気温が0℃を上回るようになり、7月と8月には平均気温が約25℃まで上昇する（図10）。8月から徐々に気温は低下して11月下旬頃には0℃を下回るようになり、1月は-10℃を下回る日が多くなる。

カザフスタン北部においては、平均気温が0℃を上回るようになるのは4月上旬頃からであり、南部に比べて約1カ月遅い（図12）。また、平均気温が0℃を下回るようになるのは10月下旬頃からで、南部に比べて約1カ月早い。日平均最高気温は北部も南部も約25℃になるが、日平均最低気温は北部では-30℃にも達し、南部より約15℃も冷え込む。

## 4. 飼料資源の種類と季節生産性

### 1) 野生植物

牧野においては約18,000種の野生植物が存在し、このうち飼料として利用できるのは100-150種であると言われている（石田ほか，1997）。年間降水量200mm前後の乾燥地では、草本植物ではイネ科の *Stipa* spp., *Poa* spp., *Bromus* spp., *Aegilops* spp., カヤツリグサ科の *Carex* spp., マメ科の *Trigonella* spp.などが、灌木ではアカザ科の *Salsola* spp., *Haloxylon* spp., *Agriophyllum* spp., *Kochia* spp., キク科の *Artemisia* spp., マメ科の *Alhagi* spp.などがよく出現する。

牧野の放牧利用は積雪のない期間、つまり、カザフスタン南部では11月下旬頃から4月中旬頃まで、カザフスタン北部では11月中旬頃から4月下旬頃までとなる。積雪期間中でも、天気の良い日には家畜が雪を掘り分けて草本植物を採食することもある。

## 2) 農作物

カザフスタン南部においては、平均気温が約10℃になる4月上旬に、春小麦、大麦、エン麦、デントコーン<sup>8)</sup>などが播種される(図13)。春小麦は8月、大麦とエン麦は7月下旬、デントコーンは9月下旬から10月上旬にかけて収穫される。デントコーンの収穫が遅れるのは、小麦や大麦の収穫が終了してから、デントコーンの収穫が行われるためである。冬小麦の播種は9月下旬から10月上旬にかけて行われ、収穫は7月下旬となり、春小麦の収穫よりも早い。

一方、カザフスタン北部の春小麦、大麦、エン麦の播種は、南部よりも約1カ月半、収穫は約1カ月遅くなっている(図13)。大麦、エン麦、デントコーンに比べて春小麦の収穫期間が長いのは、小麦の作付地面積が広大であるため、収穫に時間を要するからである。北部では、雪に覆われる期間が長く、最低気温が-30℃を下回ることもあり、冬小麦の栽培は行われていない。

穀物の収穫が終わった後に残る刈株やワラは貴重な飼料資源となり、刈株跡地に家畜を放牧して採食利用する。小麦の穀実はパンなどの形で人間の食糧になるが、小麦のワラ、大麦の穀実・ワラ、エン麦の乾草、デントコーンなどは家畜用の給与飼料となる。舎飼い飼養においては、大麦の穀実は家畜に周年給与される。ワラ、乾草およびデントコーンのサイレージ<sup>9)</sup>は、飼料資源が乏しくなる冬から春にかけて主に給与される。

飼料作物のアルファルファは多年生植物であるので、およそ3、4年ごとに耕起・播種して更新される。アルファルファは雪解けから積雪までの間は放牧により利用され、また夏から秋にかけて青刈り、冬から春にかけてサイレージとして家畜に給与される。

この他、家畜の飼料となり得るのはジャガイモやウリ類などの農作物残渣である。これらの野菜や果物は春から秋にかけて収穫され、その収穫跡地に家畜を放牧して農作物残渣を利用する。

## 5. 事例考察

農民経営における家畜生産状況を把握するために、1997年の9月から10月にかけて現地調査を行った事例について報告する。調査した農民経営および農村の位置を、図8に示した。

### 事例1. カザフ人、アルマティ近郊

3兄弟の家族が協力して農民経営を行っている事例である。本事例の家族は、母親、兄弟姉妹およびその妻の合計7人がコルホーズで働いていたが、1996年に生産協同組合(旧コルホーズ)から独立した。独立する際に人数と勤労年数を考慮した土地配分が行われ、生産協同組合所有2,000haのうちの80ha(20haの農耕地と60haの牧野)の割り当てがあった。割り当てのあった土地は、彼らがコルホーズ化以前に放牧利用していた地域であり、今後100年間の利用権がある。独立してからトラクター1台、トラック1台およびバイク1台を購入した。

農作物は、冬小麦、大麦、デントコーン、現地名でエスバルツェットと呼ばれる *Onobrychis* spp. を天水で栽培している。冬小麦、春大麦およびデントコーンの播種と収穫の時期は、図13のカザフスタン南部の耕作暦に図示されている通りである。エスバルツェットは多年生で乾燥に対して耐性を持つ飼料作物で、その播種期は4月、収穫期は6月から7月にかけてである。刈取り回数は年

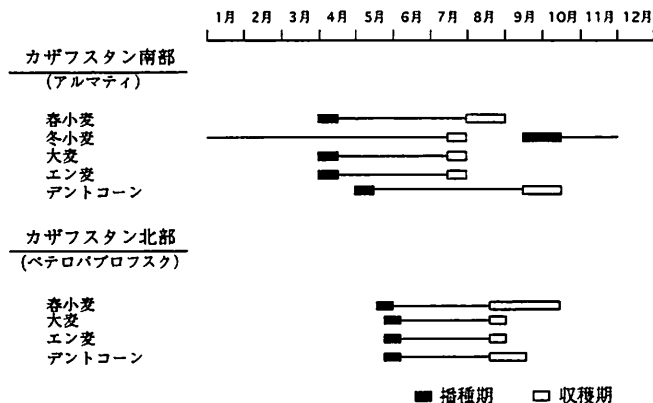


図13. カザフスタンの北部と南部における主要作物の播種期と収穫期。(縄田, 1996に加筆)

1回のみで、全て乾草にされる。

現在飼養されている家畜は、牛が12頭、馬が7頭、羊が約40頭、山羊が約10頭および鶏が約100羽である。牛はホルスタイン種と在来種であるアウリアタ種 (Aulie-Ata) が飼養されている。アウリアタ種はホルスタイン種よりも乳量では劣るが、乳脂率が高く、冷涼な環境に順応し粗飼料に耐える (FAO, 1997)。羊は、メリノ種と在来の脂腎羊<sup>10)</sup>であるイドルバイ種 (Edilbaev) が飼養されている。イドルバイ種は肉・毛・乳兼用種である。馬は馬乳酒<sup>11)</sup>作りと騎乗用に在来のジャーバ種 (Jabe) が飼養されている。イスラム教徒なので豚は飼養していない。コルホーズ勤労時代にも少数の私有家畜を飼養しており、独立してから徐々に飼養頭羽数を増加させた。

生産された生乳、クリーム<sup>12)</sup>、卵、および小麦の穀実、その余剰分が買付けに来る仲買人に売却される。飼養家畜の生体と精肉が売却されることは少ない。

家畜は、雪解けが始まる4月中旬から降雪が始まる11月下旬までは牧野や農作物収穫跡地において放牧され、11月下旬から4月中旬までは飼料給与により舎飼される (図14)。放牧には、4月中旬から7月中旬までは牧野が利用され、小麦や大麦の収穫が始まる7月中旬以降は収穫跡地が利用される。11月下旬から4月中旬に給与される飼料は、大麦穀実、デントコーンの穀実、大麦と小麦のワラおよびエスパルツェットの乾草である。

## 事例2. ウイグル人、アルマティ近郊

小麦や野菜などの農作物を作る生産協同組合 (旧コルホーズ) から1994年に独立し、3家族が協力して農民経営を行っている事例である。当農家は、主に作物栽培を行い、自家消費用に家畜を小頭数飼養している。

コルホーズにはかつて従業員が700人おり、農作物を栽培するかたわら牛を2,000頭飼養していた。1991年から始まった民営化により、コルホーズが生産協同組合に

移行した際、ガソリンなどの物資の支給が停止したために、牛を売却して金銭を得る手段を講じ、現在では生産協同組合にほとんど牛が残っていない。

生産協同組合から一緒に独立した3家族はコルホーズ勤労時代から1つの班で働き、1人はトラクター、1人は耕作、1人は灌漑および家畜を専門としていた。

生産協同組合から割り当てられた農耕地は合計200haで、牧野はない。割り当てられた農耕地は集落から離れているため、男性が交代で農耕地に住み込んで働いている。家畜の割り当ては生産協同組合からではなく、コルホーズ勤労時代から私用に飼養してきた牛3-4頭、馬2頭、羊5頭が各家族にいる。鶏を飼養していないのは家が集落内の密集した地域にあり、空地が狭いためである。また、イスラム教徒なので豚は飼養していない。

生産された小麦はガソリンなどの必要物資と物々交換されたり、バザールに店を構える友人、仲買人の友人へ売却されたり、自家消費用に製粉工場 (料金を手数料を支払う代わりに1/3の粉を渡す) で小麦粉にされる。大麦は冬の飼料分が確保できれば、残りは物々交換される。野菜も自家消費分が確保できれば、残りは物々交換される。

家畜は、11月下旬から4月上旬の積雪期間中は放牧されることなく舎飼され、大麦の穀実、アルファルファの乾草、小麦と大麦のワラなどが飼料として給与されている (図14)。4月上旬から11月下旬の放牧シーズンに、当農家は、自らが家畜を放牧に連れ出すことはなく、放牧を専門に行っている農家に預けて放牧させている。牛と羊の預賃はそれぞれ50テンゲ/頭/日、25テンゲ/頭/日である。なお、公務員の平均月給は約7,500テンゲ<sup>13)</sup>である。預けるのは日中だけで、夜間は家畜の各所有主のところに戻る。

本事例は事例1と異なり、作物栽培を主な生業とし、副業的に数頭の家畜を飼養している。このような場合、

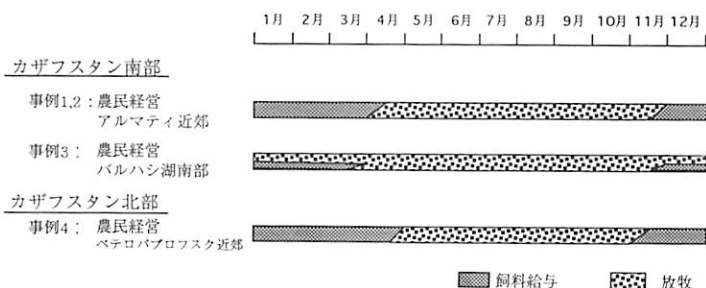


図14. カザフスタンの南部と北部における飼料給与期と放牧期。

家畜を預けて放牧させることが多い。

### 事例3. カザフ人およびロシア人、ウッセルマ村、バルハシ湖南部

戸数が約150戸、人口が約500人のウッセルマ村における事例である。年間降水量は200mm以下で、灌漑なくしては作物を栽培することができない地域である。この村はかつてキツネを飼養するコルホーズに属し、年間7,000頭分の毛皮を生産していた。しかし、1994年にコルホーズが解体された際に全てのキツネが売却され、現在ではキツネは1頭も残っていない。

住民は、住居脇にある小さな菜園で野菜を栽培し、数頭の家畜を飼養して生活している。集落内の全ての家畜を集めても、牛が約10頭、羊が約100頭、山羊が約10頭、ロバが数頭にしかならず、放牧はまとめて行い、交代制で各農家が順番に担当している。ウッセルマ村では小麦や大麦などの穀物は一切栽培されていない。従って、500人の人口を維持するだけの農業生産が行われておらず、人口は年々減少を続けている。ウッセルマ村は、1998年には餓死者も生じた状態となっている。

ウッセルマ村では1年を通して放牧が行われている(図14)。11月下旬から3月下旬にかけて積雪をみるが、マオウ科マオウ属の小低木である *Ephedra lomatolepis*、ヨモギ属の *Artemisia terrae-albae* やアカザ科の *Agriophyllum arenarium* などの灌木は比較的丈が高く、積雪期間にあっても家畜はこれらの野生植物を採食することができる。この期間、家畜には放牧と並行して、夏から秋の間に収集・保存しておいた野生植物の乾草が給与される。

ウッセルマ村では周年放牧が行われ、農作物残渣や飼料作物に全く依存していない家畜飼養が行われている。これは、コルホーズ時代の農業生産がキツネの飼養のみであり、灌漑農業および牛や羊などの家畜飼養が行われなかったことと深く関係している。コルホーズが解体された後、灌漑灌漑の技術と知識が欠如していたため、飼料を生産することができず、飼料生産と家畜飼養が結び付き得なかったものと考えられる。

### 事例4. 農民経営、ロシア人、ペテロパブロフスク近郊

元々はペテロパブロフスク市内に居住していたが、1987年に郊外へ引越すと同時に家畜を飼養し始めたロシア人家族の事例である。夫婦および息子4人のうち2人とで農民経営を行っている。1989年に政府から土地(農耕地350haと牧野35ha)の利用権を得て、春小麦、大麦、エン麦や飼料を天水で栽培するようになった。家

畜は徐々に増え、現在では牛27頭、馬約30頭、羊約50頭、豚約20頭、キツネ約20頭および鶏約200羽を飼養している。

雪解けが始まる4月下旬から降雪が始まる11月中旬までは牧野や農作物収穫跡地における放牧、11月中旬から4月下旬までは飼料給与による舎飼が行われる(図14)。南部に比べると、雪に覆われている期間が長いので、放牧する期間が合計約1カ月ほど短くなっている。農作物収穫跡地での放牧は、収穫跡地内に草本植物の新芽が伸びるまで収穫後半月ほど待ってから10月上旬から11月中旬まで、牧野での放牧と並行して行われる。11月中旬から4月上旬に給与される飼料は、大麦穀実、大麦と小麦のワラおよびエン麦の乾草である。

以上4つの事例をもとにし、徐々に生産活動を発展させてきている農民経営方法の特質を考察してみよう。

農民経営においては、周年舎飼いするだけの飼料栽培、畜舎やサイロなどの設備投資力が不足している。そのため、牧野および作物収穫跡地をできるかぎり利用し、飼料給与は降雪の間だけに頼る飼養形態となっている。つまり、牧野および農作物収穫跡地をできるだけ利用することにより、より低コストで家畜飼養を実現させている。

また、コルホーズ勤労時代には各人が専門化した仕事を担当していたため、この専門職への特化が総合的知識を必要とする農民経営の独立および発達を大きく阻害した。そこで、異なる仕事を専門とした人が幾人か集まって農民経営を始める方策がしばしばとられた。独立してから数年が経つ現在では、各人が作物栽培、家畜飼養および経営方法の経験を徐々に積み、それぞれが家族単位で独立することも可能な状態となっている。

一方、市場経済の未だ発達していない現在のカザフスタンにおいては、農作物を栽培しても市場で十分に売却することができない状況にある。そこで農民経営では、友人や知人を頼っての売却や物々交換などにより、資金や必要物資を調達している。つまり、友人や知人を通して生産物流通経路を確保していると言える。

これらをまとめると、農民経営における生産拡大手段は、

- 1) 牧野および農作物収穫跡地の可能な限りの放牧地としての利用、
  - 2) 経験を通して得られる総合的技術の蓄積、
  - 3) 友人や知人を通じた生産物流通経路の確保、
- であると要約することができる。



## 6. おわりに

全農業経営数の86%を占めるに至った農民経営は、カザフスタンの農業経済において、今後ますます重要となっていくであろう。しかし、農民経営を行うに当って、解決されていない問題点が未だ多く残されている。

資金が不足しているために設備投資が行い難い状態にある。設備投資の脆弱さは、飼料生産を行うためのトラクター類が購入できない、畜産物を保存したり加工したしすることができないなどの問題をもたらしている。第二に、農業生産物の流通システムが整備されておらず、生産しても売却したい時に確実に売却することができないでいる。従って、取引が確実に期待できない市場よりも、人脈やバーター取引を頼りにして農業生産物が主に流通している。この市場経済の未発達が、農民経営の活動を必然的に制限することになる。つまり、農民経営の最大の弱点は、設備投資力の脆弱さと流通システムの未整備である。そして第三に、蓄積しつつある技術力のレベルアップが望まれる。技術力の向上に比例して、農民経営における農業生産がより効率的に行われることにより、カザフスタンの農業生産は大幅に増大するであろう。これからの農民経営、ひいてはカザフスタンの将来の農業生産にとって、市場の整備と農民への技術・財政面での支援こそが重要であると考えられる。

## 謝 辞

本調査は、京都大学大学院農学研究科（当時）の石田紀郎氏为主幹する日本カザフ研究会（JRAK）の協力のもとに行われた。農林水産省農業総合研究所の野部公一氏には資料収集と貴重な情報を提供して頂いた。国際農林水産業研究センター（JIRCAS）の好意を頂き、カザフスタン農業統計を手入することができた。カザフスタン農業大学のイスカコフ・アユーフ氏には現地での調査と情報収集に協力を頂いた。カザフスタン私費留学生の谷山加子氏と仲野悦子氏には資料の翻訳に協力を頂いた。これらの方々に感謝を申し上げる。

## 注

- 1) 対象者は、各ソフホーズ・コルホーズ内で働く農業労働者、農業機械技師、医者、教師など全ての関係者である。
- 2) 数十家族以上からなる大規模な独立した農業経営形態を意味する。

- 3) 1家族もしくは数家族が共同して農業を営む独立した経営形態を意味する。
- 4) 農業統計（カザフスタン共和国国立統計委員会、1996）によると、カザフスタンの農業形態は、1. 全ての国民経営、2. コルホーズ、3. 私企業（有限会社）、4. 株式会社、5. 生産共同組合、および6. 農民経営の6つに類型分類されている。
- 5) 一般に、処女地開拓と呼ばれる。
- 6) 本論文では、畜産（牧畜を含む）物と農作物の生産を合わせて農業生産としている。
- 7) 1997年9月では、1ヘクタールが約1.6円であった。
- 8) 飼料作物であり、トウモロコシの一品種である。
- 9) サイロに貯蔵された醗酵飼料を意味する。
- 10) 臀部に脂肪を蓄積する羊を脂臀羊と呼ぶ。一方、尾に脂肪を蓄積するタイプもあり、これを脂尾羊と呼ぶ。いずれも乾燥地に適した羊である。
- 11) 地方名でコムスと呼ばれる。
- 12) 地方名でカイマックと呼ばれる。
- 13) 約12,000円に相当する。

## 引用文献

- 石田定顕、北川政幸、宮崎 昭（1997）：カザフスタン共和国の家畜生産の現況、「中央アジア乾燥地における大規模灌漑農業の生態環境と社会経済に与える影響—1996年度調査報告—」日本カザフ研究会、99-113。
- 松原正毅（1994）：『文化人類学事典』平凡社。
- 細田栄治（1996）：栽培技術と作付体系、「中央アジアステップ地帯における生態系調和型農業開発戦略の策定」平成8年度開発援助研究報告書、33-46。
- 宮道明編（1997）：『データブック・オブ・ザ・ワールド』。宮書店。
- 野部公一（1989）：処女地開拓の再検討：1954-56年、ソビエト史研究会編『ソ連農業の歴史と現在』39-74。
- Академия Наук Казахской ССР Сектор Географии（1982）：Атлас Казахской ССР, Москва, Казахской ССР,（カザフ・ソビエト社会主義共和国地理局（1982）：『カザフ・ソビエト社会主義共和国のアトラス』モスクワ、カザフ・ソビエト社会主義共和国）
- FAO (Food and Agriculture Organization) (1997) : DAD-IS, FAO, Rome, Italy.
- Госкомстат Республики Казахстан (1996) : Сельское хозяйство. Алматы, Республика Казахстан. (カザフスタン共和国国立統計委員会（1996）：『農業統計』アルマティ、カザフスタン共和国)

## Trends of Livestock Production by Private Farmers in Kazakhstan after Independence

Masahiro HIRATA\*, Hitoshi SHINJO\*\*, Masayuki KITAGAWA\*, Jyoken ISHIDA\*,  
Takashi KOSAKI\*\* and Akira MIYAZAKI\*

After gaining its independence in 1991, Kazakhstan introduced a market economy and has been faced with economical disorder ever since. Agricultural production, especially livestock production, has continuously decreased during the last several years. While production on state farms and agricultural cooperatives has fallen, private farmers (Kristiyanskaya hazyastova), on the other hand, have gradually developed various activities in the agro-pastoral production. Such activities have begun to play a more important role in the agricultural economy of Kazakhstan. This paper, therefore, reports the current situation of private farmers in Kazakhstan. The strategy of developing agro-pastoral activities is summarized as, 1) trying to rely more on rangeland and harvested fields for ruminant grazing, 2) accumulating the necessary techniques for management through various experiences, and 3) securing the market system through personal relationships. In order to improve and encourage the production activities of private farmers, rearranging the market system and providing financial support should be warranted.

**Key Words:** Kazakhstan, Economical disorder, Agricultural production, Private farmer

---

\* Laboratory of Animal Husbandry Resources, Advanced Course of Applied Biosciences, Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Kitashirakawa-Oiwake, Sakyo-ku, Kyoto-city 606-8502, Japan.

\*\* Laboratory of Soil Science, Division of Environmental Science and Technology, Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Kitashirakawa-Oiwake, Sakyo-ku, Kyoto-city 606-8502, Japan.

(Received, June 18, 1998; Accepted, April 6, 1999)

# Water and Salt Stress Mediated Induction of $\beta$ -amylase: Selection of Species for Arid and Semi-arid Areas Plantation

Rupali DATTA\* and Sanjay KUMAR\*

Resistance to water and salt stress is the most important factor to be considered in the selection of species for plantation in arid and semi-arid areas. The function of the enzyme  $\beta$ -amylase ( $\beta$ -amy) in plants is to degrade starch, and its activity is linked to the mobilization of nutrients within the plant. In the present study, maize and pearl millet leaves were used to study the effect of stress on  $\beta$ -amy. The results obtained show that water and salt stress, and the loss of chloroplasts, stimulate  $\beta$ -amy activity and protein level by three fold over control light-grown seedlings and light is an essential factor for the this enhancement. This indicates that plants with higher  $\beta$ -amy activity can counter the damaging effects of stress by efficiently mobilizing nutrients in the stressed tissues. This finding can be used in future to identify species and/or develop plants over-expressing  $\beta$ -amy by bio-technological manipulation, having better rates of survival and growth for plantation in arid and semi-arid areas.

**Key Words:** *Pennisetum americanum*, *Zea mays*,  $\beta$ -amylase, Norflurazon, stress

## I. Introduction

Global environmental changes, population pressure, unsustainable and unhindered exploitation of land at the local level such as mining, deforestation, grazing etc. have not only contributed to the expansion of the existing deserts and known arid areas, but have also contributed to the stress factors catalyzing the fast degradation of land, destabilizing the eco-system and the micro-climate in many regions of the third world countries. Many traditionally known fertile lands now fall under the category of arid and semi-arid lands. The soil micro-organisms and either completely destroyed, or are on the verge of it, rendering conventional means of reclamation costly and ineffective.

The rate of expansion of these arid and semi-arid areas are also alarming; which has been instrumental in inviting and contributing to natural calamities such as soil erosion, unreliable rainfall, depleting ground water

resources, etc., thereby straining and reducing options for development. In the long run, people belonging to the lowest strata of society are the ultimate sufferers due to these changes. Planners too are increasingly being burdened with the complexities of the present situation. It is essential therefore to devise means, using the techniques of biotechnology, to stop and revert this trend.

In the present paper, laboratory tests were conducted to study the effect of stress on  $\beta$ -amylase ( $\beta$ -amy), using maize and pearl millet leaves under artificially created conditions of salt, water and light stress. Maize and pearl millet were chosen as these are crops especially suited for growth in semi-arid areas, and can be expected to have efficient in built stress-tolerating mechanisms. In higher plants, the principal product of photosynthetic carbon fixation (transitory starch) is formed inside the chloroplasts, where it is stored till it is mobilized. It is thought that either the amylolytic or phosphorolytic pathways, or a combination of the two, may mobilize transitory starch in chloroplasts. Starch degradation in

\* Department of Applied Biological Chemistry, Faculty of Agriculture, Niigata University. 8050 Ikarashi-nincho, Niigata 950-2102, Japan.

\*\* Department of Global Environment Engineering, Faculty of Engineering, Kyoto University. Sakyo-ku, Kyoto 606-0000, Japan.

(Received, July 29, 1998; Accepted, November 20, 1998)

plants, particularly in storage organs such as seeds and tubers, is carried out by the action of  $\alpha$ -amylase,  $\beta$ -amy and starch debranching enzymes. It is therefore reasonable to expect that in green leaves, starch-degrading enzymes such as amylases are localized in the chloroplasts, in order to carry out starch degradation. On the contrary, in several plants, studies on intracellular localization of amylases have indicated that the majority of the amylolytic activity in leaves is localized in the extraplastidic compartment.

In several species,  $\beta$ -amy activity is regulated by factors causing stress to plants. Incubation of potato tubers at low temperature caused sugar accumulation and the induction of a new isoform of  $\beta$ -amy (NIELSEN *et al.*, 1997). In vegetative organs of sweet potato,  $\beta$ -amy is either absent or present at very low levels, however, stresses such as mechanical wounding, or incubation of leaf petiole cuttings in solutions of elicitors such as polygalacturonic acid and chitosan (which mediate the induction of wound related defense reactions) induced the expression of  $\beta$ -amy and sporamin genes (NAKAMURA *et al.*, 1991). Similarly in barley, stresses such as the photooxidative loss of chloroplasts by Norflurazon (NF) treatment, elevated temperature and low water potential stimulated  $\beta$ -amy activity by 3 to 5 fold in leaf (DREIER *et al.*, 1995).

In many species, exposure to light also causes a stimulation in  $\beta$ -amy activity. In mustard cotyledons, phytochrome induced *de novo* synthesis of  $\beta$ -amy by elevating its mRNA level (SHARMA and SCHOPFER, 1987). The mutants of *Arabidopsis thaliana* with altered starch metabolism accumulated high levels of  $\beta$ -amy activity in leaf only when grown in a 12 h photoperiod but not under continuous light (CASPAR *et al.*, 1989). In addition to light,  $\beta$ -amy activity is stimulated by sugars in several species. In *Arabidopsis* leaf (MITA *et al.*, 1995) and in sweet potato petiole cuttings (NAKAMURA *et al.*, 1991) incubation in 6% sucrose significantly increased  $\beta$ -amy activity after 7 days of treatment. However, in *Arabidopsis*, maximal induction of sucrose-mediated  $\beta$ -amy activity was observed in the presence of light (MITA *et al.*, 1995).

Studies on the subcellular localization of  $\beta$ -amy have indicated that in species such as pea and wheat (ZIEGLER and BECK, 1986) and *Arabidopsis* (MONROE *et al.*, 1991) it appears to be localized in the vacuoles, and in spinach

and *Chenopodium* it is localized in the cytosol (ZIEGLER and BECK, 1986). Immunocytochemical localization studies in *Strepanthus tortuosus* and *Arabidopsis* revealed that  $\beta$ -amy is localized in the phloem cells (WANG *et al.*, 1995).

The localization of  $\beta$ -amy outside the chloroplast indicates that it may have functions other than starch degradation, and there has been a suggestion that  $\beta$ -amy are stress-induced proteins (DREIER *et al.*, 1995). Also, the fact that  $\beta$ -amylase is very stringently regulated by several factors as mentioned above indicates that it may play an important role in plant metabolism. In the present study, we have examined the effect of water and salt-stress and the absence of chloroplasts on  $\beta$ -amy activity in maize and pearl millet leaves. We report that in maize and pearl millet leaf, major portion of the  $\beta$ -amy activity is localized in the vacuoles, and stress induces  $\beta$ -amy activity and protein level in light.

## 2. Materials and Methods

### 1) Plant materials and treatments

Maize (*Zea mays*) var. Ganga-5 and pearl millet (*Pennisetum americanum*) var. WCG-75 seeds were obtained from AP State Seed Corporation, Hyderabad, India. Seeds were first soaked in distilled water for 12 h and then sown on moist germination papers. The seedlings were grown in growth room maintained at 25°C with a relative humidity of 60% in continuous white light (100 mmol m<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup>) or darkness. White light was obtained using four cool white fluorescent tube lights of 40 W each. A set of seedlings grown in darkness for six days were also transferred to white light for 24 h to study the influence of light on  $\beta$ -amylase activity. For Norflurazon (NF) treatment, maize and pearl millet seeds were presoaked for 12 h in NF (0.4 mM) and sown on germination papers moistened with NF and grown as mentioned above. The first leaf from these seedlings were harvested by excising at mesocotyl junction for all analyses.

Four-day old seedlings grown in distilled water were subjected to water and salt stress. Seedlings were transferred to various concentrations (100-500 mM) of sorbitol or NaCl solution. Thereafter, the seedlings were grown under white light or darkness for four more days and irrigated with the respective solutions. Control seedlings were grown similarly, but in distilled water.

Since 300 mM sorbitol and NaCl were found to be optimum for  $\beta$ -amy induction, all the subsequent experiments were done using seedlings grown in 300 mM sorbitol or NaCl.

## 2) Isolation of mesophyll and bundle sheath protoplasts

Isolation of mesophyll and bundle sheath protoplasts was done according to the procedure of LEEGOOD *et al.* (1982). The first leaf was excised at base from 9-days-old maize and pearl millet seedlings. The harvested leaves were cut into 0.5 mm sections with a razor blade and washed in the wash medium containing 0.5 M sorbitol and 1 mM  $\text{CaCl}_2$  in 5 mM MES (pH 6). The tissue was digested with digestion medium containing 0.5 M sorbitol, 1 mM  $\text{CaCl}_2$ , 2% (w/v) Onozuka 3S (cellulase), 0.1% (w/v) Macerozyme R-10 in 5 mM MES (pH 5.5) for 2 h at 25°C in a petri dish. The tissue was washed with 20 ml of wash medium and filtered through a 500 mm nylon mesh (a tea strainer). The washing was repeated three times. The filtrates of all three washes were pooled and passed through a 80 $\mu\text{m}$  nylon mesh. The filtrate contained mesophyll protoplasts and the residue contained the bundle sheath strands. The filtrate was centrifuged at 100g for 5 min. The pellet was resuspended in 5 ml of sucrose medium containing 0.5 M sucrose, 1 mM  $\text{CaCl}_2$ , 5 mM MES buffer (pH 6.0). The sucrose medium containing protoplasts was transferred to a centrifuge tube and 1 ml of wash medium was layered over it and centrifuged at 250g for 5 min. The protoplasts at the interface of the two solutions were collected using a wide bore pipette and centrifuged at 100g for 5 min to obtain mesophyll protoplasts. The residue left after filtration through 80 $\mu\text{m}$  nylon mesh contained the bundle sheath cells. The residue was incubated in the digestion medium at 25°C for 2 h. The procedure used to isolate bundle sheath protoplasts was the same as that used for the isolation of mesophyll protoplasts.

## 3) Isolation of vacuoles

Isolation of vacuoles was done according to the procedure of ZIEGLER and BECK (1986). Two grams of first leaf harvested from 9-d-old light-grown seedlings of maize and pearl millet were cut into thin strips in buffer A consisting of 5 mM MES (pH 6). 1 mM  $\text{CaCl}_2$  and 0.5 M sorbitol. The strips were incubated in dark for 3 h in 30

ml of buffer A supplemented with 2% (w/v) cellulase and 0.1% (w/v) macerozyme. The pH of the digestion medium was adjusted to 5.5 after addition of the enzymes. The strips were washed three times with buffer A and the solutions were pooled. The solution was filtered through a 100 $\mu\text{m}$  nylon mesh and centrifuged at 165g for 5 min. The pellet was suspended in 7 ml of buffer B consisting of 5 mM MES (pH 6), 1mM  $\text{CaCl}_2$ , 0.5 M sucrose and 20% (v/v) percoll. Over this suspension in a centrifuge tube, 2 ml of buffer C consisting of 5 mM MES (pH 6). 1 mM  $\text{CaCl}_2$  0.4 M sucrose, 0.1 M sorbitol and 10% (v/v) percoll, and 2 ml of buffer A was layered. Intact protoplasts at the interphase of buffer C and buffer A were collected after centrifugation at 1,000g for 10 min. The protoplasts were lysed in buffer A by mixing 4.5 ml of buffer D consisting of 25 mM HEPES (pH 7.8), 2 mM EDTA and 20% (w/v) ficoll (400) to every 3 ml of protoplast suspension and shaken by hand occasionally. Two ml of buffer E consisting of 10 mM HEPES (pH 7.6), 2 mM EDTA, 0.5 mM sorbitol and 5% (w/v) ficoll (400) and 3 ml buffer F consisting of 10 mM HEPES buffer (pH 7.6). 2 mM EDTA and 0.5 M sorbitol were layered on the mixture and centrifuged at 1,000g for 10 min. The vacuoles banded at the interphase of buffer D and E and the chloroplasts sedimented at the bottom. The vacuoles were collected using a wide bore pipette. The yield of vacuoles was checked both microscopically, as well as by the assay of the marker enzyme acid phosphatase.

## 4) $\beta$ -amylase assay

One gram of leaves was homogenized in 2 ml of 10 mM sodium acetate buffer (pH 5.0) containing 4 mM  $\text{CaCl}_2$  and 500 mg of quartz sand in a prechilled mortar on ice. The homogenate was diluted to 4 ml with extraction buffer and centrifuged at 7,600g for 10 min at 4°C. The clear supernatant was assayed for  $\beta$ -amy activity using smylose as the substrate as described earlier (VALLAY and SHARMA, 1991). Total amylase activity was assayed in a reaction mixture (final volume 4 ml) consisting of 100mM sodium acetate buffer (pH 5.2), 4 mg/ml soluble starch, 4 mM  $\text{CaCl}_2$  and 1 mM NaF. The assay was initiated by adding 100 $\mu\text{l}$  of the crude enzyme extract to the reaction mixture. The assay was carried out at 30°C. Aliquots of 500 ml were withdrawn at 0, 15 and 30 min from the beginning of the assay and were

mixed with 500  $\mu$ l of dinitrosalicylic acid reagent. The resulting mixture was heated for 5 min on a boiling water bath. After cooling, the mixture was diluted to a final volume of 6 ml with distilled water. The increase in reducing sugars was determined by measuring absorbance at 540 nm using maltose as standard. After assaying total amylase activity,  $\beta$ -amy activity was calculated by subtracting the value of  $\alpha$ -amylase activity from the total amylase activity.  $\alpha$ -Amylase assay was performed after inactivation of  $\beta$ -amy present in the crude extract by heating equal volumes of the crude extract and 20 mM  $\text{CaCl}_2$  solution in a water bath at 70°C for 10 min. The assay mixture for  $\alpha$ -amylase in a final volume of 4 ml consisted of 100 mM sodium acetate buffer (pH 5.2) 1 mM NaF and 4 mg/ml  $\beta$ -limit dextrin.  $\alpha$ -Amylase activity was assayed as described earlier for total amylase.

Non-dissociating PAGE was done using 10% gels. The gels were stained for activity after incubating them for 2h at 37°C in a solution containing 1% (v/v) soluble starch in 100 mM sodium acetate buffer (pH 5.0) and 10mM  $\text{CaCl}_2$ . The gels were then washed and stained using a solution of 5.7 mM  $\text{I}_2$  and 43.3 mM KI.

### 5) Western blotting

SDS-PAGE was carried out following the procedure of LAEMMLI (1970) using 10% gels. Western blotting after SDS-PAGE was done using antibodies against maize seed  $\beta$ -amy and the bands were visualized using an alkaline phosphatase conjugated anti-rabbit sheep antibody. The first leaf or the leaf segments were homogenized in an extraction buffer, consisting of 100 mM sodium acetate buffer (pH 5.0) containing 4 mM  $\text{CaCl}_2$ . After centrifugation (20,000g, 0°C, 20 min), the supernatants were boiled after mixing with an equal volume of 2  $\times$  SDS-PAGE sample buffer. The gel was electroblotted by semi-

dry blotting to a polyvinylidenedifluoride membrane (Immobilon P, Millipore) following the protocol described by TOWBIN *et al.* (1979). Anti- $\beta$ -amy polyclonal antibodies raised in rabbit for maize  $\beta$ -amy were used to detect the corresponding antigens.

## 3. Results and Discussion

To discern the distribution of  $\beta$ -amy in maize leaves, we examined its level in the mesophyll and bundle sheath cells. Table 1 shows that  $\beta$ -amy activity can be detected both in isolated mesophyll and bundle sheath protoplasts, whereas  $\beta$ -amy is present only in the mesophyll protoplasts. Moreover,  $\beta$ -amy activity is not detectable in the chloroplasts isolated from both mesophyll and bundle sheath protoplasts. The possibility of a vacuolar localization of  $\beta$ -amy was examined by isolating vacuoles from the protoplasts of maize and pearl millet leaves. The purity of the vacuolar preparation was checked by assaying acid phosphatase activity as a vacuolar marker enzyme. The loss of vacuoles during isolation from the protoplasts was calculated by estimating percent recovery of acid phosphatase in vacuoles by comparing with its amount present in protoplasts. The observed values for acid phosphatase recovery were used to calculate the relative amount of  $\beta$ -amy present in vacuolar compartment of intact protoplasts. The above estimation of relative amount of  $\beta$ -amy present in vacuoles show that in maize and pearl millet leaves, about 94% and 80% of  $\beta$ -amy activity of the protoplast is present in the vacuoles respectively (Table 2). The data reported represent the average value of three independent experiments.

The activity staining of gels after non-denaturing PAGE of extracts prepared from maize leaf, protoplasts and vacuoles showed a single band of  $\beta$ -amy (Fig. 1A).

Table 1. Distribution of amylase activity in mesophyll and bundle sheath cells of maize leaves.

Cell Fraction	Amylase Activity (nkat/mg protein)	
	$\alpha$ -amylase	$\beta$ -amylase
Mesophyll chloroplasts	0.26 ( $\pm$ 0.02)	n.d.
Mesophyll cytosol	0.81 ( $\pm$ 0.07)	3.28 ( $\pm$ 0.3)
Bundle sheath chloroplasts	0.25 ( $\pm$ 0.02)	n.d.
Bundle sheath cytosol	0.37 ( $\pm$ 0.04)	n.d.

n.d.: not detectable.



Table 2. Recovery of  $\beta$ -amylase in different cellular fractions of maize and pearl millet leaves.

Cell Fraction	Amylase Activity (nkat/mg protein)	Acid phosphatase activity (mM of pnp released)		% $\beta$ amylase (corrected value*)
	$\alpha$ -amylase	$\beta$ -amylase		
Maize				
Crude extract	1.03 (± 0.08)	4.69 (± 0.5)	20.5 (± 2)	—
Protoplasts	0.83 (± 0.08)	3.51 (± 0.4)	13.5 (± 1.2)	—
Vacuoles	n.d.	0.78 (± 0.08)	3.2 (± 0.29)	93.7
Pearl Millet				
Crude extract	1.15 (± 0.1)	4.88 (± 0.4)	21.7 (± 2)	—
Protoplasts	0.91 (± 0.08)	3.86 (± 0.4)	14.02 (± 1.3)	—
Vacuoles	n.d.	0.84 (± 0.08)	3.8 (± 0.4)	80.3

n.d.: not detectable.

\*The corrected value of  $\beta$ -amylase represents the relative amount of  $\beta$ -amylase present in vacuoles of maize and pearl millet protoplasts. The values were calculated by estimating the recovery of marker enzyme acid phosphatase in vacuolar fractions.

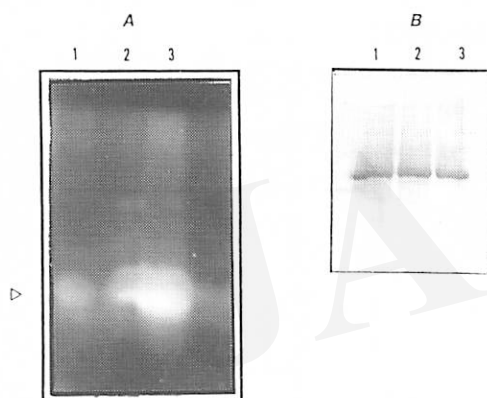


Fig. 1. Localization of  $\beta$ -amylase in vacuoles.

Extracts from different sub-cellular fractions of 9-d-old maize leaves were subjected to either non-denaturing PAGE followed by enzyme staining using amylose as the substrate (A) or to SDS-PAGE followed by Western blotting against  $\beta$ -amylase antiserum (B). Lane 1, Vacuolar extract; Lane 2, Mesophyll protoplast extract; Lane 3, Crude extract.

Likewise, the analysis of extracts prepared from maize mesophyll cells, protoplasts and vacuoles by western blotting analysis using polyclonal antibodies raised against maize  $\beta$ -amy for the extracts showed a single 56 kD band corresponding to the molecular weight of maize  $\beta$ -amy (Fig. 1B). There was no discernible difference in the molecular weight of  $\beta$ -amy present in the leaf, in the vacuole and that in the protoplast (Fig. 1).

The location of  $\beta$ -amy outside the chloroplast in leaves

indicates that it may have function(s) other than starch degradation, as leaves do not possess polymeric carbohydrates outside the chloroplasts. One potential function of  $\beta$ -amy could be that of defense against putative pathogens or an endogenous marker of stress expressed by plants. Relatively few studies have examined these possibilities, but there are few reports favoring the view that amylases are induced by various stresses. For example, in tobacco, infection by tobacco mosaic virus elevated  $\alpha$ -amylase activity located in the apoplast of leaves, along with increase in levels of pathogenesis related proteins such as hydrolases (HEITZ *et al.*, 1991). Similarly, in barley seedlings, exposure to water stress stimulated  $\beta$ -amy activity in leaves, and increased level of  $\beta$ -amy was localized in extraplastidic compartment (JACOBSEN *et al.*, 1986).

In order to check if the above is true for maize and pearl millet leaves, experiments were conducted under conditions of salt and water stress. Figure 2 shows that dark-grown maize and pearl millet seedlings possess low levels of  $\beta$ -amy activity compared to light-grown seedlings, which possessed significantly higher activity. The transfer of dark-grown seedlings to light for 24 h stimulated  $\beta$ -amy activity to a level nearly equivalent to light-grown seedlings. The application of the herbicide NF, which inhibits carotenoid biosynthesis causing photooxidation of chloroplasts under light, had no significant effect on  $\beta$ -amy activity of etiolated seedlings. In contrast, the NF-treatment strongly stimulated  $\beta$ -amylase activity in seedlings grown under continuous

light and also in seedlings transferred to light from darkness. Similarly, in seedlings subjected to water stress by transferring them into sorbitol and sodium chloride solutions, exposure to stress strongly stimulated  $\beta$ -amy activity in light-grown seedlings and also in seedlings transferred to light. Interestingly, for all three stress treatments, NF, sorbitol and sodium chloride, the maximal induction of  $\beta$ -amy was observed only in seedlings exposed to light, and in dark-grown seedlings the effect of these treatments was minimal (Fig. 2).

The view that light and stress mediated stimulation of  $\beta$ -amy activity results from an increase in its protein level was ascertained by western blotting of leaf extracts from the stressed and control seedlings. Western blotting indicated that the stimulation of  $\beta$ -amy activity in stressed leaves causes a strong stimulation of  $\beta$ -amy protein levels (Fig. 3). In all cases, the stimulation of  $\beta$ -amy activity was also accompanied by a similar increase in  $\beta$ -amy protein level.

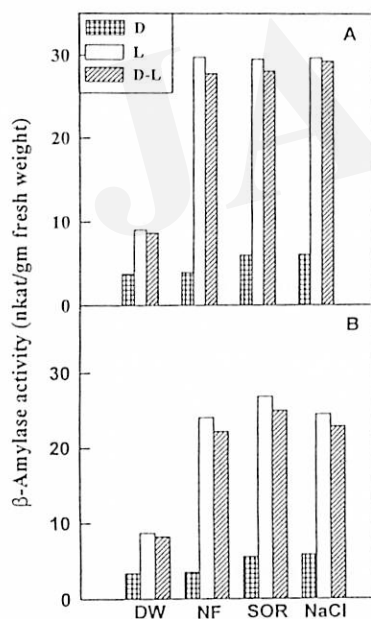


Fig. 2. Effect of stress on  $\beta$ -amylase activity. Maize (A) and pearl millet (B) seedlings were grown for 4 d in distilled water and for d in 300 mM sorbitol (SOR), 300 mM sodium chloride (NaCl), or for 8 d in distilled water (DW) or in Norflurazon (NF). Seedlings were grown either in continuous darkness (D), white light (L) or for 7 d in darkness followed by 1 d in white light (D-L). The first leaf was assayed for  $\beta$ -amylase activity.

In the present study, maximal elevation of  $\beta$ -amy activity in water- and salt-stress treated seedlings could be observed only when the seedlings were either grown in light or were transferred to light. By contrast, the same treatments had little effect on  $\beta$ -amy activity of dark-grown seedlings. Apparently, exposure to light is necessary for the full expression of stress-induced  $\beta$ -amy activity in maize and pearl millet seedlings. Such an interaction between light and sugar induced  $\beta$ -amy is also observed in *Arabidopsis*, where light is required for the maximal induction of  $\beta$ -amy (MITA *et al.*, 1995).

The mode of interaction between light and stress at the moment is not known and can only be speculated. It is possible that the two responses, *i.e.* to light and stress, act at two different levels, and when the plant is simultaneously exposed to both of these, there is a multiplicative effect on  $\beta$ -amy accumulation. It is also likely that the seemingly different stress responses such the loss of functional chloroplasts and water stress may converge at

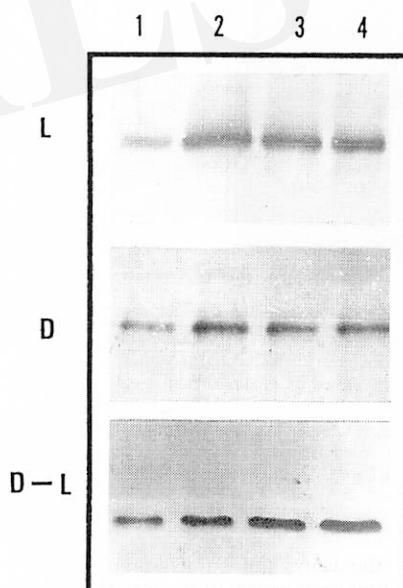


Fig. 3. Effect of stress on  $\beta$ -amylase protein level. Maize seedlings were grown either in distilled water or NF for 8 d or for 4 d distilled water followed by 4 d in 300 mM sorbitol or sodium chloride in white light (L), dark (D) or for 7 d in darkness followed by 1 d in white light (D-L). First leaves from the seedlings were harvested and subjected to SDS-PAGE followed Western blotting using  $\beta$ -amylase antibodies. Lane 1, Distilled water, Lane 2, NF; Lane 3, sorbitol; Lane 4, sodium chloride.

a common mechanism which may be operational only in light. It has been observed that stresses such as cold and drought transmit the signal via the activation of a specific mitogen-activated protein kinase (JONAK *et al.*, 1996). There is an evidence that protein phosphorylation is a key element in sugar-mediated regulation of sweet potato  $\beta$ -amy and sporamin in leaf petiole cuttings of sweet potato, as it is inhibited by inhibitors of Ser/Thr protein kinase (OHTO and NAKAMURA, 1995) and also of protein phosphatase 1 and 2A (TAKEDA *et al.*, 1994). At the moment the level at which these factors regulate  $\beta$ -amy activity in maize and pearl millet is not known. Nevertheless, western blotting revealed that stress mediated induction in  $\beta$ -amy activity was correlated with the increase in  $\beta$ -amy protein (Fig. 3).

In barley,  $\beta$ -amy activity in NF bleached leaves was higher compared to green leaves, and this induction by NF was interpreted as a stress response to light in the absence of pigments (DRIER *et al.*, 1995). However, results obtained in this study indicate that the role of light is rather indirect, and it only amplifies the effect of stress on the  $\beta$ -amy level.

#### 4. Conclusion

The results obtained in this study indicate that, stress caused by the loss of functional chloroplasts in NF-treated seedlings in light, potentiates a strong stimulation of  $\beta$ -amy activity both in pearl millet and maize leaves. Such a stress-mediated upregulation of  $\beta$ -amy appears not to be restricted to the loss of chloroplasts alone. Exposure of seedlings to other stresses such as water and salt stress, in seedlings growing in solutions of low water potential, or exposure to high (30 mM) concentration of salt, also induce a similar increase in  $\beta$ -amy activity. These results show that in maize and pearl millet leaves,  $\beta$ -amy level is regulated by environmental stresses. This indicates that plants with higher  $\beta$ -amy activity can counter the damaging effects of stress by efficiently mobilizing nutrients in the stressed tissues. This finding can be used in future to identify species and/or develop plants over-expressing  $\beta$ -amy by bio-technological manipulation, having better rates of survival and growth for plantation in arid and semi-arid areas.

#### Reference

- CASPER, T., LIN, T.-P., MONROE, J., BERNHARD, W., SPILATRO, S., PREISS, J. and SOMERVILLE, C. (1989): Altered regulation of  $\beta$ -amylase activity in mutants of *Arabidopsis* with lesions in starch metabolism. *Proc. Natl. Acad. Sci., U.S.A.*, **86**: 5830-5833.
- DRIER, W., SCHNARRENBERGER, C. and BORNER, T. (1995): Light- and stress dependent enhancement of amylolytic activities in white and green barley leaves:  $\beta$ -amylases are stress induced proteins. *J. Plant Physiol.*, **145**: 342-348.
- HEITZ, T., GEOFFROY, P., FRITIG, B. and LEGRAND, M. (1991): Two apoplastic  $\beta$ -amylases are induced in tobacco by virus infection. *Plant Physiol.*, **97**: 651-656.
- JACOBSEN, J.V., HANSON, A.D. and CHANDLER, P.C. (1986): Water stress enhances expression of an  $\beta$ -amylase gene in barley leaves. *Plant Physiol.*, **80**: 350-359.
- JONAK, C., KIEGERL, S., LIGTERINK, W., BARKER, P.J., HUSKISSON, N.S. and HIRT, H. (1996): Stress signaling in plants: A mitogen-activated protein kinase pathway is activated by cold and drought. *Proc. Natl. Acad. Sci., U.S.A.*, **93**: 11274-11279.
- LAEMMLI, U.K. (1970): Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of Bacteriophage T4. *Nature*, **227**: 680-685.
- LEEGOOD, R.C., EDWARDS, G.E. and WALKER, D.A. (1982): *Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis*. Pergamon Press.
- MITA, S., SUZUKI-FUJII, K. and NAKAMURA, K. (1995): Sugar-inducible expression of a gene for  $\beta$ -amylase in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiol.*, **107**: 895-904.
- MONORE, J.D., SALMINEN, M.D. and PREISS, J. (1991): Nucleotide sequence of a c-DNA clone encoding a  $\beta$ -amylase from *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiol.*, **97**: 1599-1601.
- NAKAMURA, K., OHTO, M.A., HOSHIDA, N. and NAKAMURA, K. (1991): Sucrose induced accumulation of  $\beta$ -amylase occurs concomitant with the accumulation of starch and sporamin in leaf petiole cutting of sweet potato. *Plant Physiol.*, **96**: 902-909.
- NIELSEN, T.H., DETTING, U. and STITT, M. (1997): A  $\beta$ -amylase in potato tubers is induced by storage at low temperature. *Plant Physiol.*, **113**: 503-510.
- OHTO, M.A. and NAKAMURA, K. (1995): Sugar-induced increase of calcium-dependent protein kinases associated with the plasma membrane in leaf tissues of tobacco. *Plant Physiol.*, **109**: 973-981.
- SHARAMA, R. and SCHOPFER, P. (1987): Phytochrome-mediated regulation of  $\beta$ -amylase mRNA level in mustard (*Sinapis alba* L.) cotyledon. *Planta*, **171**: 313-320.
- TAKEDA, S., MANO, S., OHTO, M.A. and NAKAMURA, K. (1994):

- Inhibitors of protein phosphatases 1 and 2A block the sugar-inducible gene expression in plants. *Plant Physiol.*, **106**: 567-574.
- TOWBIN, H., STAHEKIN, T. and GORDON, J. (1979): Electrophoretic transfer of protein from polyacrylamide gels to nitrocellulose sheets. *Proc. Natl. Acad. Sci., U.S.A.*, **76**: 4350-4354.
- VALLY, K.J.M. and SHARMA, R. (1991): Interaction between chloroplast biogenesis and photo reguration of amylases in *Pennisetum americanum* leaves. *Photochem. Photobiol.*, **54**: 651-657.
- WANG, Q., MONROE, J. and SJOLUND, R. (1995): Identification and characterization of a phloem specific  $\beta$ -amylase. *Plant Physiol.*, **109**: 743-750.
- ZIEGLER, P. and BECK, E. (1986): Exoamylase activity in vacuoles isolated from pea and wheat leaf protoplasts. *Plant Physiol.*, **82**: 1119-1121.

# Carbon Sequestration in an Arid Environment Near Leonora, Western Australia

Koichi YAMADA<sup>1)</sup>, Toshinori KOJIMA<sup>2)</sup>, Yukuo ABE<sup>3)</sup>,  
Aidrian WILLIAMS<sup>4)</sup> and John LAW<sup>5)</sup>

This paper tested the hypothesis that arid areas have the potential to make appreciable contributions to global carbon sequestration. This is a preliminary result of a project which has the aim of increasing the present level of carbon sequestration by 5-20 times by afforestation using systems such as efficient water harvesting, irrigation, soil-improving cultivations, careful species selection and development of systems to increase rainfall.

Near Leonora in Western Australia, where mean annual rainfall is 208mm, selected shrub species, and tree species in four plant communities were destructively sampled to measure the contributions to biomass of leaves, branches, stems and roots.

Total DM (dry material weight) in the shrub species ranged from 161-870g. Total DM in the tree species that were root washed ranged between 1.45kg (height=1.00m) and 379.5kg (height=5.70m). Roots contributed 17.2-24.9% of total DM in the shrub species, and 19.7-29.7% in the tree species.

Transects were established and sampled through each of the plant communities to record the size, distribution and numbers of each perennial species. Data from the destructive sampling was used to estimate the biomass of comparable plants found on these transects. Wood samples from the destructive samples were analysed for their carbon contents and age estimations.

Trees contributed 12% of plant numbers but 88% of the biomass. The data suggest that in this area plant communities contribute a range of 600kg DM/ha to 82t DM/ha of total standing biomass, with a mean of 8.5t DM/ha (4.1t-C/ha) over the entire Sturt Meadows Station (299,250ha). *Eucalyptus camaldulensis* could sequester 16kg-C/plant·y and 10t-C/ha·y.

**Key Words:** Afforestation, Arid land, Carbon sequestration, Biomass

## 1. Introduction

KOJIMA *et al.* (1995) proposed a project to sequester atmospheric carbon through the planting of 1Mha of trees in arid areas. They estimated that this planting could sequester 0.15-0.2 Gt-C/yr, equivalent to 10% of the carbon dioxide emissions from rainforest deforestation.

While arid areas by definition receive little rainfall, low latitude receive high solar radiation ( $>1\text{kW/m}^2$ ). Therefore, arid areas have the potential to promote rapid tree growth if water can be provided.

A collaborative study has commenced in Western Australia to develop tree planting technology for arid areas based on rainwater harvesting, careful choice of species, the development of cultural techniques, soil

<sup>1)</sup> Department of Fine Materials Engineering, Shinsyu University, 3-15-1, Tokida, Ueda, Nagano 386-8567, Japan.

<sup>2)</sup> Department of Industrial Chemistry, Faculty of Engineering, Seikei University, 3-3-1, Kichijyoji-kitamachi, Musashino-Shi, Tokyo 180-8633, Japan.

<sup>3)</sup> Department of Agricultural and Forest Engineering, University of Tsukuba, 1-1-1, Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan.

<sup>4)</sup> Curtin University of Technology, Kalgoorlie, WA 6430, Australia.

<sup>5)</sup> Minesite Rehabilitation Services Pty Ltd, Kalgoorlie, WA 6430, Australia.

improvement and systems to increase rainfall.

It has been estimated that about 54 % of the carbon pool held in trees in Australia should be found in its arid parts (CAMAHAN, 1976; GIFFORD *et al.*, 1992; GRIERSON *et al.*, 1992; NATIONAL PLANTATION INVENTORY, 1997). Yet little work has been undertaken to establish the annual rates of carbon sequestration. This is important to verify the sequestration estimates above, and to provide a baseline from which to judge the effectiveness of future research and development.

The research reported in this paper investigated the dry matter, carbon contents and ages of various constituent species of woodland and shrubland communities in the Leonora area of arid Western Australia. The project tested the hypothesis that arid areas have the potential to make appreciable contributions to global carbon sequestration.

## 2. Methodology

### 1) Location

The research site is located on the 299,250 ha Sturt Meadows pastoral sheep station, centred 45km north west of Leonora in the North Eastern Goldfields sub-region at latitude 28° 53' S; longitude 121° 45' E.

### 2) Description of the environment

Geologically the sub-region is part of the Yilgarn Craton, built on Archaean rock. It comprises linear to arcuate north-west trending belts of greenstone and local gneissic rocks, intruded by granitoid rocks of Archaean age. Overlying all the rock units are alluvial, colluvial, aeolian and lacustrine deposits of Cainozoic age, which are generally thin and variable. Some of the surficial sediments are deeply weathered and laterised (ALLEN, 1994).

The sub-region ranges from about 350-550m above sea level. It is generally of low relief with erosional escarpments bordering some areas of laterite, local ranges and isolated hills, formed by more resistant rocks, and small to very large playa lake systems in the lowest areas (ALLEN, 1994).

The mean annual rainfall is 208mm (median rainfall=195mm), and is characterised by high variability (50-500mm). The area receives 46% of its rainfall in winter

and 54% in summer. Winter rainfall is more reliable and generally occurs in lighter falls; summer rainfall is often associated with thunderstorms or decaying cyclones, and is more unpredictable and generally occurs in heavier falls. Annual pan evaporation is approximately 3,400mm. Together these give the area a bioclimate description of 'Desert: Summer and winter rainfall' (after BEARD, 1990).

A computer prediction of available soil moisture, based on rainfall, evaporation and likely runoff (ARWATBAL after FITZPATRICK *et al.*, 1967) indicates that in 71% of years the area can expect a winter growing season of at least 6 pentads (five day periods), but in only 19% of years the area can expect a summer growing season of 4 pentads. The average length of growing season is 50 days (+/-32) in winter, and 10 days (+/-7) in summer (GILLIGAN, 1994).

The hottest month is January (mean monthly maximum=37.1° C, mean monthly minimum=21.6° C), and the coldest month is July (mean monthly maximum=18.2° C, mean monthly minimum=6.0° C).

### 3) Site selection and site descriptions

Seven sites covering four plant communities were chosen for sampling. These were an Eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*) drainage line community, a Tea Tree (*Melaleuca sheathiana*) salt lake margin community, a Chenopod shrubland community, and a Mulga (*Acacia aneura*) over hardpan community. Certain site types were selected secondarily on the basis of their hydrology (run on, run through, and run off sites). The essential characteristics of the seven sites are laid out in Table 1.

### 4) Species selection for destructive sampling

The species were chosen for destructive sampling on the basis of their importance to the composition of their plant community. Individual plants of average size were chosen for sampling on the basis of visual appraisal.

### 5) Plant sampling

#### (1) Lower, mid and upper story sampling

These vegetation storeys were measured using the transect recording and processing system (TRAP System: BACK *et al.*, 1996), which involves identifying, locating, and measuring each plant along a minimum of



Table 1. Site characteristics.

SITE	GENERAL DESCRIPTION	SOIL TYPE	HYDROLOGY	VEGETATION
1	Banks of incised drainage channel	Alluvium over clays Hardpan exposed in channels	Major watercourse & distributary in floods	Productive, fringing riparian woodland
2	Trec grove over drainage focus	Clay loam over hardpan	Site receives and concentrates run on	<i>Acacia aneura</i> tall shrubland
3	Gently inclined plain/Margin of salt lake system	Saline alluvium over hardpan	Run through/Run off area	Shrubs < 1.0m
4	Plains subject to sheet flow	Shallow red earth soils over hardpan	Sparce, un-incised drainage zone, Run off area	<i>Acacia aneura</i> shrublands
5	Broad drainage track	Red earthy sands over hardpan	Natural run-on diverted by road for 100 years ?	<i>Acacia aneura</i> shrublands
6	Saline plain fringing salt lake	Shallow red sandy clays over hardpan	Subject to flooding after heavy rain	<i>Acacia</i> & <i>Melaleuca</i> over low holophytic shrubs
7	Mulga thicket in water-course depression	Clay loam over hardpan	Run on area	<i>Acacia aneura</i> dominant. Little ground story

three fixed transects per site. Transect length and width was varied to allow measurement of at least 100 plants of the dominant species on each site, where measurement of upper story species required a larger sampling area. This area was arranged so that the lower and mid story transect fell within the centre of the upper story sampling area. The height of all woody plants was measured. The circumference or diameter of trees and large shrubs was measured at 30cm above ground level, and at 1.3m for plants over 2m in height. For the larger multi-stemmed plants each system was recorded separately and it was noted whether it was alive or dead. Canopy cover was assessed from two measures of the canopy diameter, one parallel to the transect and the other at right angles to it. Transect data was standardised as plant numbers per hectare.

(2) Ground story sampling

Ground vegetation (annual and short-lived bunch grasses, ephemeral forbs, perennial grasses, and sedges) at each site was sampled using 20 fixed 1m<sup>2</sup> quadrats at 5m intervals along a transect. The plant material was cut

to ground level, dried and measured as dry matter/m<sup>2</sup>. Litter was split into two categories, that of leaves and decaying plant material, and that of woody material and sticks. Some of this woody material consisted of branches and tree trunks that had fallen to the ground and were intercepted in the quadrats. Leaves and decaying plant material were oven dried; wood and sticks were assumed to be dry due to the extremely dry conditions at the time of sampling.

The ground story was also sampled using 2,000 wheel point strikes per site. Leaves, sticks and decaying plant material were all recorded as litter.

(3) Destructive plant sampling

Plants at six of the seven sites were sampled destructively to provide the guides for Dry Matter (DM) content of the total plant community.

The area around the felling site was cleared of plant debris, and tarpaulins were laid out to ensure the purity of the sample. The whole plant was measured as for all plants found along transects. Stems of trees and shrubs less than 1cm in diameter were then harvested from the

plants, cut up into manageable portions and placed on a tarpaulin. This sample was weighed to determine the fresh weight of the section of each sampled plant that was less than 1cm in diameter. A 10kg sub sample was stripped of leaves, and the leaves and twigs were fresh weighed separately, and then dried and reweighed.

The remainder of the plants were sampled in the categories: branches 1-4cm, branches > 4cm, and trunk. All parts were fresh weighed, sub sampled, dried and reweighed. Total dry weight of each component of the plant was calculated and recorded. Similarly the root systems of some plants were washed out of the ground, drained, fresh weighed, sub sampled, oven dried, and reweighed to give the weight of the root systems.

#### (4) Calculating biomass per hectare

The Dry Matter values per hectare, and over the entire Sturt Meadows are estimates. The estimates are based on the following method:

1. Measure the dry matter of a reference sample of shrubs, grasses and trees of different sizes (this is the work that was done in the destructive sampling). These provide reference samples. Other plants of the same size and growth form as the reference plants are assumed to contain the same Dry Matter.

2. Knowing the Dry Matter and density of grasses from reference areas on Sturt Meadows an estimate can be made for this which will be the lowest DM/ha. Identifying the maximum tree densities and heights allows an estimate to be made of DM/ha for this which will be the largest standing biomass/ha.

3. Other estimates can be made for areas of Sturt Meadows which have shrub vegetation and no trees, or Mulga woodland. A limited number of classes of each vegetation type are established to represent different plant densities.

4. A value for DM/ha is calculated for each vegetation type and density class based on the estimate of plant density, and the mix of plant types and sizes. For each vegetation type multiply the estimated number of plants/ha of each particular size by the measured DM of reference plants. Add the calculated totals of DM/ha for each type or size of plant on a site together to arrive at the total DM/ha for that vegetation type.

5. Using aerial photographs identify areas of land which support grasses only, shrubs and grasses only, or

trees and shrubs in the chosen density classes. These different areas are delineated and measured.

6. To arrive at an estimate of total DM for Sturt Meadows multiply the calculated DM/ha for each of the vegetation types by the area of Sturt Meadows that it covers. Then add the DM totals for each vegetation type together.

7. The average DM/ha for Sturt Meadows will be the total DM (calculated in 6. above) divided by the size of Sturt Meadows.

### 6) Carbon analysis

Dried wood samples of each of the plants that was destructively sampled were tested for their carbon content by measurement of residue following combustion.

### 7) Plant aging

Cross sections of plant trunks were analysed at the Australian National University to determine plant ages. The method compared counts of growth rings with rainfall records to correlate years of good rainfall with large annular rings. These correlations provided fixed points in the aging analysis.

## 3. Observations

### 1) Relative contribution to total biomass of different plant parts of sampled species

Table 2 shows the dry weight of the parts of the destructively sampled plants, and gives the percentage contribution of the plant parts. Total dry matter (DM) in the shrub species ranged from 161-870g. Total DM in the tree species that were root washed ranged from 1.45 kg to 379.5kg. Roots contributed 17.2-24.9% of total DM in the shrub species, and 19.7-29.7% in the tree species. The largest *Acacia aneura* (Site 2), *Acacia tetragonophylla* and *Eucalyptus camaldulensis* trees were only sampled to ground level. Branches >1cm diameter and trunks contributed 91.8%, 76.4%, and 91.3% of the above ground DM (89.2kg, 20.9kg and 623.2kg) respectively.

### 2) Estimates of biomass per hectare for the different sampling sites and vegetation stories

Table 3 provides the estimates of above ground biomass provided by vegetation above and below 4m in height for each of the sampling sites. Taken overall for

Table 2. Results of destructive sampling (kg-DM).

SPECIES	SITE	HEIGHT	ROOTS	TRUNK	BRANCHES	LEAVES	TOTAL
<i>Roots sampled</i>		m	kg	kg	kg	kg	kg
<i>Acacia ramulosa</i>	3	2.09	15.95	31.99	19.48	13.44	80.86
<i>Lawrencia squamata</i>	3	0.40	0.16		0.5	0.04	0.692
<i>Acacia aneura</i> (1)	4	5.70	98.76	138.09	131.12	11.56	379.53
<i>Acacia aneura</i> (2)	4	1.55	1.70		3.2	1.20	6.10
<i>Acacia aneura</i> (3)	4	1.00	0.43		0.92	0.09	1.45
<i>Eremophila forrestii</i>	4	0.50	0.040		0.097	0.024	0.161
<i>Eremophila macmilliana</i>	4	1.00	0.15		0.46	0.26	0.87
<i>Melaleuca sheathiana</i>	6	2.94	75.57	105.44	155.09	25.82	361.92
<i>Roots not sampled</i>							
<i>Eucalyptus</i>	1	16.40		494.20	158.15	30.07	682.42
<i>camaldulensis</i> (Note 1)							
<i>Acacia aneura</i>	2	7.80		55.37	38.41	3.39	97.17
<i>Acacia tetragonophylla</i>	7	4.20		8.44	17.8	1.13	27.37

Table 3. Plant numbers and biomass per hectare.

SITE	HYDROLOGY	PLANTS	PLANTS	TOTAL	BIOMASS	BIOMASS	TOTAL
		< 4 m height	> 4 m		PLANTS	PLANTS	BIOMASS
					< 4 m	> 4 m	
		stem/ha	stem/ha	stem/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
1	Stream bank	155	205	360	1,068	86,807	87,875
2	Run on/ natural depression	1,719	672	2,391	1,233	86,230	87,463
3	Run through/ run off	6,750	0	6,750	610	0	610
4	Drainage line/ runoff	3,488	263	3,751	8,766	38,725	47,491
5	Drainage but water diverted	4,013	175	4,188	7,914	21,750	29,664
6	Run through/ run off	6,535	33	6,568	10,362	11,744	22,106
7	Broad drainage floor/run on	1,500	1,825	3,325	14,553	87,396	101,949
	Mean	3,451	453	3,905	6,358	47,522	53,880
	Percentages	88.4%	11.6%	100%	11.8%	88.2%	100%

the seven sites these data indicate that vegetation above 4m in height contributes some 11.6% of the total number of plants but contains 88.2% of the above ground biomass. Conversely vegetation below 4m in height contributes some 88.4% of the plant population, but these plants only contain 11.8% of the biomass.

Aerial photographic analysis provided an estimate of 8.5 tons DM per hectare for the above ground biomass

and 10.5t DM including roots for the whole of Sturt Meadows Station (299,250 ha).

### 3) Carbon content of wood samples of various species

The carbon contents of fresh wood samples (Table 4) were similar (43.3-51.7%), and reflect the low moisture contents found in the material. Moisture contents of the total above ground parts of the sampled plants varied

Table 4. Dry matter, carbon content, estimated age of individual plants and estimates of annual production.

SPECIES	SITE No.	ABOVE GROUND DRY MATTER	CARBON	ESTIMATED AGE	ABOVE GROUND DM PRODUCTION	CARBON SEQUESTERED
		kg	%	years	kg/year (mean)	kg/year (mean)
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	1	682.42	47.7%	19-22	31.0-35.9	14.8-17.1
<i>Acacia aneura</i>	2	97.16	47.0%	42-55	1.8-2.3	0.8-1.1
<i>Acacia ramulosa</i>	3	64.92	43.3%	22-34	1.9-3.0	0.82-1.3
<i>Lawrencia squamata</i>	3	0.53	47.8%	N/A	N/A	N/A
<i>Acacia aneura</i> (Specimen 1)	4	280.77	51.7%	61-123	2.3-4.6	1.2-2.4
<i>Acacia aneura</i> (Specimen 2)	4	4.40	48.6%	23-26	0.17-0.19	0.08-0.09
<i>Acacia aneura</i> (Specimen 3)	4	1.02	48.2%	21	0.05	0.02
<i>Eremophila forestii</i>	4	0.12	47.0%	N/A	N/A	N/A
<i>Eremophila macmillaniana</i>	4	0.72	47.8%	10	0.07	0.03
<i>Melaleuca sheathiana</i>	6	286.35	49.9%	43-83	3.5-6.7	1.8-3.3
<i>Acacia tetragonophylla</i>	7	27.36	46.0%	24-31	0.08-1.14	0.40-0.52
		Mean				
		47.7%				

from 37.8% in the *Eucalyptus camaldulensis* to 13.5 % in the *Melaleuca sheathiana*. The moisture content of total above ground parts for all the sampled *Acacias* showed little variation from a mean of 19.38% (sd +/-0.43%).

#### 4) Estimated mean annual dry matter production and carbon sequestration of selected plants

Age estimates for some of the samples are quite broad, reflecting the difficulty involved in aging species of arid land plants. Five of the samples have an indicated age of around 20-22 years. Germination and plant establishment in arid areas tends to be episodic, occurring in years of above average rainfall. The NE Goldfields sub-region received particularly high annual rainfall in 1974-75 (*i.e.* 22 years ago). This appears to validate some of the ages estimates. The age of the older *Acacia aneura* trees and the *Melaleuca sheathiana* are more problematical. Local observation would suggest that the plants are more likely to be nearer to the older end of the age range.

Annual dry matter production estimates (Table 4) are based on the total DM measurements divided by the indicated age. Under natural conditions the majority of the sampled species have grown slowly, producing between 50g and 6.7kg DM per year. The exception is

*Eucalyptus camaldulensis*, which produced some 30-35kg DM per year, which is 9-10 times more than any of the other species sampled. This is thought to reflect both a species difference and site difference.

Carbon sequestration rates follow the same pattern as dry matter production. The estimates for the species sampled range from 20g to 3.3kg Carbon per plant per year. *E. camaldulensis* is the exception, indicating a carbon sequestration rate of 15 to 17kg Carbon per year.

#### 4. Discussions

Little or no replication of sampled trees was attempted in this study due to the scale of the undertaking of destructive sampling. Thus, although the (unpublished) transect records are numerous, the results of this work must be seen as preliminary and indicative only until further research is carried out in the same area.

Arid areas do make large contributions to global carbon sequestration by virtue of their extent, making up some 40% of the land mass of the globe. However, the carbon sequestration rates measured in this study are low. The exception to this is the *Eucalyptus* species. Estimations based on our measurements from a single

tree suggest that one hectare of *Eucalyptus camaldulensis*, grown at a plant density of 625 trees per hectare, could be expected to sequester 10t-C/ha·y. If Carbon credits trade at \$20 per tonne of Carbon sequestered this would represent an annual gross return of \$200 per hectare, or \$4,000 per hectare over a 20 year rotation. This is far higher than any other form of primary production presently practised in arid areas of Australia. Present levels of annual net return per hectare in Western Australia are said to be \$0.3 for 200-250mm rainfall area and \$90 for 300-350mm rainfall area. This provides an indication of the economic level of funding that could be allocated to establishing areas of trees for Carbon sequestration. This work requires verification.

Table 3 further indicates that while shrubs are far more numerous, growing at higher plant densities, arid land rehabilitation using shrub species will not produce a concomitant benefit in terms of carbon sequestration. For land rehabilitation and carbon sequestration to go hand in hand the only option will be to plant trees that have the potential to grow rapidly.

The next consideration will be to develop technologies that will promote rapid growth. The *Eucalyptus camaldulensis* in this study grows along water courses where it can root deeply. A problem for much of the trial area is the presence of a massive siliceous layer ('hardpan') at soil depths varying from a few centimetres to one metre, and varying in thickness from 10 to 100cm. This limits root penetration, and, therefore, limits the moisture available to plants. In the root washing exercise it was noted that the majority of plant roots did not penetrate the hardpan. In places 'sink holes' were found in the hardpan, and plant roots grew towards and into these holes, which afforded the roots and plants additional soil moisture. Trials are needed to study the effect on the growth of selected tree species that would result from mechanically breaking through or fracturing the hardpan layer.

The species of vegetation which are the subjects of this paper are well adapted to survival in times of low rainfall and very low soil moisture. Yet some species also have the ability to grow rapidly when moisture is available. *E. camaldulensis* has been observed to germinate and grow rapidly when soil moisture is plentiful, as was the case following heavy cyclonic rain in 1995. The growth

potential of this species is higher than the data would suggest. The long term growth rates that we have calculated in this paper are a resultant of periods of rapid growth followed by periods of slow growth in dry times.

Growth rates can be promoted by increasing soil moisture availability by harvesting runoff water. The biomass totals in Table 3 give a clear indication of the benefit of additional water. Sites 1,2 and 7 receive additional moisture by virtue of their position in the landscape. The biomass production from each of these sites is at least twice the biomass of sites 3, 4, 5, and 6.

Systems for ponding runoff water have been in use in the region for a number of years (*e.g.* LAU 1993; ADDISON *et al.*, 1997). At Sturt Meadows Station annual rainfall of 208mm results the biomass of 8.5t DM/ha. When the saturation period of biomass growth is assumed to be 20 years, the annual biomass growth rate becomes 0.4t DM/ha/y. The growth rate of 2t DM/ha/y at the annual rainfall of 200mm is reported (LIETH and WHITTAKER, 1975).

Using this reported value the actual usage rate of the rainfall for the biomass production is calculated to be 20%. It means the rate of biomass production can be increased by 5 times by improving the harvesting method of run off water and soil structure.

Water ponding has the additional benefits of controlling erosive runoff, and aiding in the leaching of salt, particularly sodium salts (MINCHIN, 1995). Field tests of growing trees with harvested runoff water in arid environments are needed to indicate the full carbon sequestering potential of tree species adapted to arid environments.

Through new research, incorporating the careful choice of species, soil-structure improvement, appropriate land preparation, water harvesting, application of biotechnology, and regional climate control it might be possible to reach the production per hectare that underpins the bold estimate and target set for us (KOJIMA *et al.*, 1995). This target set could lead a possibility of carbon sequestration of 4 billion t-C in arid land of Western Australia with the annual rainfall less than 300mm.

## 5. Conclusion

Afforestation in arid land was considered as a measure to reduce atmospheric carbon dioxide.

Biomass and sequestered carbon were measured in an arid land in Western Australia, where the annual rainfall was 208mm.

Primary observation results indicated that above ground biomass and sequestered carbon per hectare were 8.5t DM and 4.1t-C, respectively. These values were increased by 28% by including roots.

The sequestered carbon might be increased to 5-20 times by incorporating the careful choice of species, soil-structure improvement, appropriate land preparation, water harvesting, application of biotechnology, and regional climate control.

## Acknowledgements

Funding for this project has been made available through the generosity of new Energy Development and also the Society of Chemical Engineers, Japan. The authors are very grateful to Dr. JCG Banks of the Forestry Department, Australian National University, Canberra, who undertook the plant aging study. We gratefully acknowledge the hospitality of the Hurst Family of Sturt Meadows Station during our fieldwork and other visits.

## Reference

- ADDISON, J., BEURLE, D.M., BURNSIDE, D.G., FAITHFUL, E., MCCARTNEY, R., PAYNE, A.L., WARD, B.H. and WILLIAMS, A.R. (1997): *A Guide to Mechanical Rangeland Regeneration*. Bulletin 4334, Agriculture WA, Perth.
- ALLEN, A.D. (1994): An inventory and condition survey of the north-eastern Goldfields, Western Australia. *Department of Agriculture, Technical Bulletin*, 87: 36-41.
- BACK, P.V., ANDERSON, E.R., BURROWS, W.H., KENNEDY, M.J.J. and CARTER, J.O. (1997): *Woodland Monitoring Manual*. D.P.I., Queensland.
- BEARD, J.S. (1990): *Plant Life of Western Australia*. Kangaroo Press, Kenthurst, NSW.
- CAMAHAN, J.A. (1976): Natural vegetation. In, *Atlas of Australia Resources, Second Series*. AGPS, Canberra.
- FITZPATRICK, E.A., SLATYER, R.O. and KRISHNAN, A. (1967): Incidence and duration of periods of plant growth in central Australia as estimated from climatic data. *Agricultural Meteorology*, 4: 389-404.
- GIFFORD, R.M., CHENEY, N.P., NOBLE, J.C., RUSSEL, J.S., WELLINGTON, A.B. and ZAMMIT, C. (1992): Australia's renewable resources. *Sustainability and Global Change Proceedings*, No. 14. Bureau of Rural Resources, Canberra, 151-187.
- GILLIGAN, S.A. (1994): Climate. *Department of Agriculture, Technical Bulletin*, 87: 15-35.
- GRIERSON, P.F., POLGLASE, P.J., ATTISILL, P.M. and ADAMS, M.A. (1992): Carbon storage in Victoria's Forests. *Australian J. Botany*, 40: 631-640.
- KOJIMA, T. *et al.* (1995): Energy and environmental issue in desert. *J. Arid Land Studies*, 5S: 1-4.
- LAW, J. (1993): Water conservation and management of run-off in arid areas. *Proc. Goldfields International Conference on Arid Landcare*, 81-92.
- LIETH, H. and WHITTAKER, R.H. eds. (1975): *Primary Productivity of the Biosphere*. Springer.
- MINCHIN, B. (1995): *Effectiveness of Waterponding as a Technique for Scald Reclamation in the North-east Goldfields Region*. BSc Dissertation, UWA, Perth, WA.
- NATIONAL PLANTATION INVENTORY OF AUSTRALIA (1997): National Forest Inventory. Bureau of Resource Sciences, Canberra.



## 西オーストラリア, レオノラ近くの乾燥地における炭素貯留

山田興一<sup>1)</sup>・小島紀徳<sup>2)</sup>・安部征雄<sup>3)</sup>・WILLIAMS, Aidrian<sup>4)</sup>・LAW, John<sup>5)</sup>

本論文は、乾燥地の地球規模での炭素固定寄与可能性を調査するためのものである。水収集効率、灌漑、適合樹種選択、降雨量増大、システム開発などを考慮し、緑化により炭素固定を現在の5～20倍にするプロジェクトの予備調査結果を示す。

年間降雨量208mmの西オーストラリア, レオノラ近辺で灌木、樹木を採取し、葉、枝、幹、根部のバイオマス量および樹齢、炭素量を測定した。

採取した灌木の乾体重量(DM)は161～870g、樹木のそれは1.45kg(1 m高さ)～379.5kg(5.7m高さ)であった。根部の全DMに対する割合は前者で17.2～24.9%、後者で19.7～29.7%であった。

TRAPS法で各植物の大きさ、分布、数を測定し、上記重量、樹齢、炭素含有量測定結果を用い測定地域(Sturt Meadows Station, 299,250ha)でのDM、炭素固定量を求めた。その結果、現存植物量は600kg-DM/haから82t-DM/ha、平均8.5t-DM/ha(4.1t-C/ha)であった。成長の速いユーカリ(*Eucalyptus Camaldulensis*)の炭素固定速度は16kg-C/個体・y, 10t-C/ha・yであった。

<sup>1)</sup> 信州大学繊維学部精密素材工学科

(受付: 1998年10月25日、受理: 1999年1月23日)

<sup>2)</sup> 成蹊大学工学部工業化学科

<sup>3)</sup> 筑波大学農林工学系乾燥地工学研究室

<sup>4)</sup> Curtin University of Technology, Kalgoorlie, WA 6430, Australia.

<sup>5)</sup> Minesite Rehabilitation Services Pty Ltd. Kalgoorlie, WA 6430, Australia.

# Environmental Changes Deduced from Satellite Data in Arid Regions — A Case Study in the Lower Reaches of the Hotan and Yarkant Rivers, China —

Muhtar QONG\* and Tamotsu IGARASHI\*

Two scenes of Landsat MSS (acquired in 1973 and 1977) and three scenes of JERS-1 OPS images (acquired in 1992, 1993, and 1995, including one scene of SAR data) were used for land cover change detection analysis. Among various transformations such as Normalized Difference Vegetation Index (NDVI: ROUSE *et al.*, 1973), Perpendicular Vegetation Index (PVI: RICHARDSON and WEIGAND, 1977), and Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI: HUETE, 1988), SAVI has been used for land cover change detection analysis with relation to vegetation coverage. For this analysis, image interpretations involving co-registration, radiometric normalization, statistical normalization, image differencing, density slice, and color display have been carried out.

In general, radiometric normalization is necessary when multitemporal data from different sensors are used in the change detection analysis. In order to compensate for differences in the calibration of different sensors, Landsat MSS and JERS-1 OPS data are radiometrically calibrated and converted to radiance values using the specific sensor's gain and offsets. However, even when each image was radiometrically normalized prior to image processing (for example calculation of SAVI), some invariant targets, particularly between different sensors, show relatively large differences in the range of Digital Numbers (DN). In order to eliminate this undesirable effect, statistical normalization (an image-to-image normalization method) was carried out. As a result, the DN values in the several (invariant targets such as clean water, bare land and dense vegetation) on both images were made equal, and the images became more alike.

Finally, difference images were generated by subtracting one SAVI image from another. From the histogram of difference images, we found that unchanged pixels were centered around the mode, and the changed pixels were located in the tail regions on either side. Consequently, all pixel values within mode (near the mode) are assumed to be unchanged pixels, while tail regions on either side contain information about the positive (gain) and negative (loss) changed pixels. The area in the Tarim Basin, China, where three large rivers join, was selected for the study area.

**Key Words:** Change detection, Radiometric normalization, Statistical normalization, SAVI, Image differencing, Density slice

## 1. Introduction

Land degradation is often considered to be a serious global environmental problem, especially in arid and semi-arid regions. According to a UNEP assessment, about 3,600 million ha, or 70% of the 5,200 million ha of drylands used worldwide for agriculture, are already

degraded (KADOMURA, 1997). According to the United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), Rio de Janeiro, Brazil, June 1992, the latest definition of the desertification (land degradation) means land degradation in arid, semi-arid, dry sub-humid areas resulting from various factors, including climate variations and human activities (UNEP, 1996). However, it would appear at present that land degradation including

---

\* Earth Observation Research Center (EORC), National Space Development Agency of Japan (NASDA). 1-9-9, Roppongi, Minato-ku, Tokyo 106-0032, Japan.

land cover changes are caused by either natural or anthropogenic factors.

In this paper, we use remote sensing techniques to monitor the development of land cover changes in arid and semi-arid regions. With the availability of Landsat satellite data collected since 1972, numerous studies (*e.g.*, TSUCHIYA and OGURO, 1996; FRIHY *et al.*, 1998; WASHINGTON-ALLEN *et al.*, 1998; SUNAR, 1998; MILLER *et al.*, 1998; PRAKASH and GUPTA, 1998) have estimated the variation of the land cover types and land cover changes. We can use remotely sensed data for land cover change studies, particularly in fragile ecological systems such as arid and semi-arid regions, and obtain information on land degradation. Land cover change detection has been a major application of collected satellite data since 1972. This involves the use of data collected on different dates to discriminate areas of land cover changes between dates of data acquisition. Moreover, studies of land cover changes by conventional methods are very time consuming and expensive, and field investigation may be tedious in some areas (PRAKASH and GUPTA, 1998).

Numerous studies of land degradation were limited to statistical descriptions only. However, we can use remotely sensed data in land degradation studies to obtain quantitative data. If remote sensing techniques are applied to map and monitor vegetation cover changes, various land use classes, composition and status of vegetation, and time-sequential changes in land use patterns in the area of interest will be identified. This information, when supplemented with data obtained from field investigations and previous reports, provides the most useful quantitative data for land cover changes. For example, MILLER *et al.* (1998) used multitemporal data of Landsat MSS to characterize land cover types, land cover changes, and landscape patterns in the Northern Forest Region of Vermont. QONG (1998) used multitemporal JERS-1 SAR data to recognize and distinguish dense forests, forests, sparse forests, shrub lands and bare lands in arid regions of China. However, due to the development of satellite imagery, many new scientific findings on the environment have emerged (*e.g.*, IGARASHI, 1997). Satellite data thus provides a wealth of information that is not available from other data sources.

The objective of this study is to document land cover changes which have occurred in the lower reaches of the

Hotan and Yarkant Rivers over 22 years (between 1973 and 1995). The detected land cover changes include areas of land cover changes, such as an increase of mobile dunes and decrease of fixed and semi-fixed dunes; drying up of the rivers and lakes; and variations of salt-affected areas. In all of the cases above, the extent of changes in the vegetation cover and ground water level plays an important role. There are many transformations, for example, Perpendicular Vegetation Index (PVI) (RICHARDSON and WIEGAND, 1977), Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI: HUETE, 1988), and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI: ROUSE *et al.*, 1973) that have been used to exploit information on vegetation coverage. In our study, we found the Soil-Adjusted Vegetation Index to be appropriate for generating useful information on environmental changes (land degradation).

## 2. Study Area

In order to detect land cover changes with multivariate data sets and to make a comparative assessment, a test site with an area of about 82.4 km by 76.8 km (a rectangular area of 1,030 pixels by 960 pixels), was selected. The area is drained by the Aksu River, Hotan River and Yarkant River. Owing to the joint location of the three large rivers in the Tarim Basin, the surface drainage is very amenable to agricultural activities in the site, and the famous Tarim River north of the Tarim Basin starts here (Fig. 1).

The Aksu River, the Yarkant River and the Hotan River originate from melted water of glaciers in the Tianshan Mountains, Pamir Plateau and Kunlun Mountains, respectively. The river discharges are mainly concentrated in the spring and summer seasons, which account for 60 % to 70% of the annual discharge. Floods sometimes occur during the snow melt seasons, resulting in flooding and alluvial deposition in the study area's lower-lying areas (QONG, 1998).

The Tarim River is located on the foreland plain of the Tianshan Mountains. The annual discharge of this river is composed of 72.0% from the Aksu River, 22.5% from the Hotan River and 5.5% from the Yarkant River (WANG, 1991). However, the annual discharge is relatively stable and makes up the main part of the water resources. As

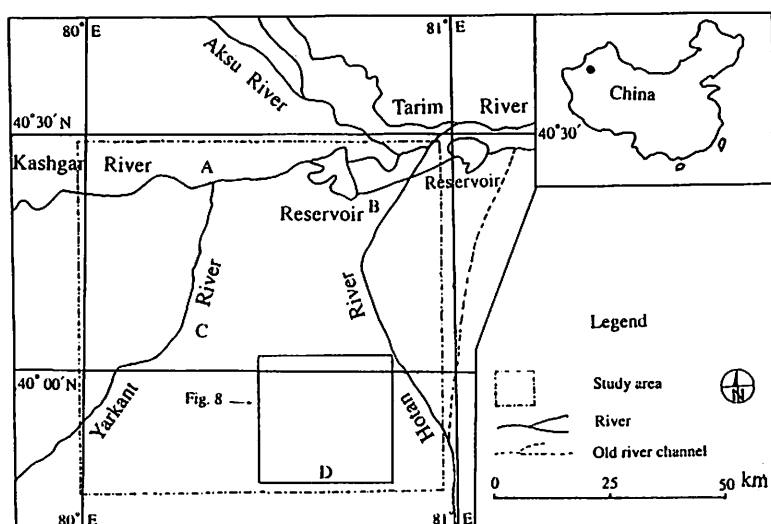


Fig. 1. Location of the study area in the Taklimakan Desert. A, B, C, and D indicate the corresponding places in Fig. 2 image (a). (Modified from ZENG, 1985).

such, it plays an important role in maintaining the ecological environment in the north part of the Tarim Basin. The study site is located where the above three rivers join.

The mean annual precipitation, temperature and evapotranspiration from the Aksu, Awat and Aral weather stations, which are close to the study area, are shown in Table 1. The precipitation is mainly concentrated between June and September and is very favorable for the growth of vegetation. There are abundant ground water resources along the river in the alluvial plain areas, where shallow ground water is richer and springs are concentrated.

The site contains a wide range of land cover types, and it has changed over several decades. The Shangyou Reservoir, located in the north, is a source of irrigation water for the farmlands. About 20 years ago, the Yarkant

River was one of the water sources of the reservoir, but at present the lower reaches of the Yarkant River have shrunk near the reservoir. The reservoir water is mainly supplied from the Aksu and Hotan Rivers.

The vegetation communities of the study area are mainly divided into the following vegetation types: (1) natural forest (dense and sparse forest), mainly dominated by *Populus euphratica* and *Populus pruinosa*, distributed along the river banks and alluvial plain; (2) oases (including farmland); (3) steppe, mainly dominated by *Phragmites communis*, *Poa cynosuroides* and *Alhagi sparsifolia*; (4) shrub land (fixed and semi-fixed sand dune), mainly dominated by *Tamarix* ssp. and *Halimodendron halodendron*; and (5) bare land (including heavily salt-affected areas and mobile dune areas) (MUJI, 1997; QONG and TAKAMURA, 1997; QONG, 1998).

Table 1. Meteorological data at selected stations near the site. (modified from WANG, 1991)

Place	Annual temperature (°C)	January temperature (°C)	July temperature (°C)	Annual precipitation (mm)	Annual evaporation (mm)	Altitude (m)	Longitude (E ° ' )	Latitude (N ° ' )
Shayar	10.5	-9.0	24.3	37.0	2,006.7	980	82 47	41 13
Aksu	9.8	-9.4	25.0	63.0	1,890.1	1,130	80 15	41 10
Awat	10.5	-8.3	24.2	46.7	1,887.0	1,067	80 24	40 38
Aral	10.7	-9.2	26.1	42.8	2,044.6	1,040	81 14	40 30

### 3. Data Used

Landsat MSS data and JERS-1 OPS/SAR data were used in this study in order to maintain a consistent data set for the 22-year period and to minimize the data costs for regional and multi-temporal studies. Landsat MSS data employed in this study were acquired in 1973 and 1977, and JERS-1 OPS/SAR data were acquired in 1992,

1993, and 1995 (Fig. 2). In addition to image data sets, some field investigation data from previous investigators who performed two field investigations in the study area in 1991 and 1993 were provided. Images were selected for the data available between July and September in the growing season of the study area. These data sets were selected based on data quality and minimum cloud coverage (Table 2).

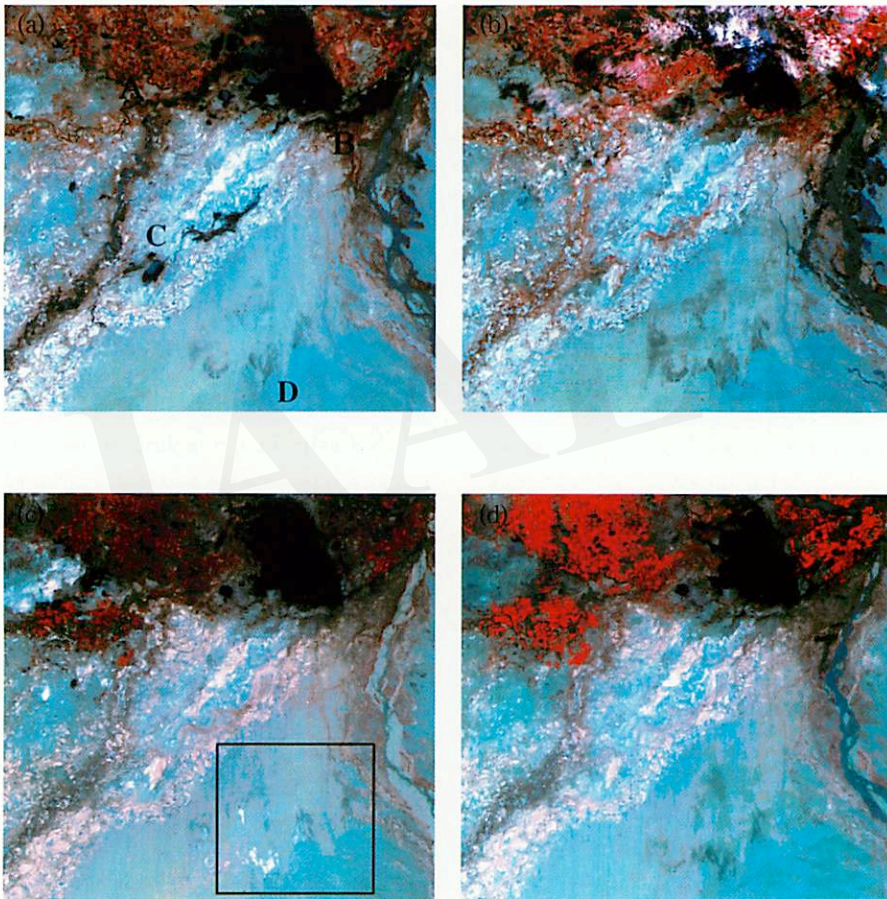


Fig. 2. False color composite images of the study area.

(a) Landsat MSS image of 16 September 1973, (b) Landsat MSS image of 12 July 1977 (bands 7, 5, 4 shown in RGB for MSS), (c) JERS-1 OPS image of 19 September 1993 and (d) JERS-1 OPS image of 24 August 1995 (bands 3, 2, 1 shown in RGB for OPS).

A, B, C and D indicate the corresponding places in the each image. Red represents highly vegetated areas black and blue areas represent water, and white and light yellow areas represent salinized or bare lands including dunes (the strong white tones represent clouds on the northeastern part of the image (d)). The area within the box on image (c) corresponds to Fig. 8.

Table 2. Satellite data used in the study.

Sensor	Acquisition date	Path	Row	Sun elevation angle
LANDSAT-1 MSS	16-09-1973	157	32	46.70
LANDSAT-2 MSS	12-07-1977	157	32	55.11
JERS-1 OPS	19-09-1993	175	233	49.00
JERS-1 OPS	24-08-1995	175	233	58.00
JERS-1 SAR	28-07-1993	175	233	-

## 4. Methods

### 1) Image registration

Data processing was performed using ERDAS imagine software on an HP workstation. All the image data were registered to 1973 Bulk and System corrected Landsat MSS image data through an image-to-image registration algorithm using a second polynomial transform to a subpixel (within 0.4 pixel RMS error) accuracy with over 40 tie points. Finally, a common subarea of 1,030 pixels by 960 pixels (nearly 82.4 km by 76.8 km) was extracted from the data sets for further analysis.

### 2) Radiometric normalization

Radiometric normalization is very important when multitemporal data from different satellites are used in an analysis. In the present study, the Landsat MSS and the JERS-1 OPS data are radiometrically calibrated and converted to radiance values using specific sensor gains and offsets, in order to compensate for differences in the calibration of different sensors (MARKHAM and BARKER, 1987; HILL and SURM, 1991; SHIMADA, 1993; BRIAN and BAKER, 1987). For Landsat MSS data, the absolute radiance at the satellite  $L$  ( $\text{mWcm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ) was then

calculated from the DN values of image data using the following equation:

$$L = \left( \frac{R_{\max} - R_{\min}}{255} \right) DN + R_{\min} \quad (1)$$

where, DN is the digital number of MSS data, and  $R_{\min}$  and  $R_{\max}$  ( $\text{mWcm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ) are the upper and lower limits of radiance for the MSS sensor (Table 3).

The equation for converting JERS-1 OPS DN to input radiance  $Q$  is

$$Q = DN \frac{A}{A'} + B \quad (2)$$

where, DN is the eight-bit, integer-type digital number in OPS products;  $A'$ , the conversion coefficient,  $A$ , the absolute calibration coefficient, and  $B$  ( $\text{mWcm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ), the offset (Table 4; SHIMADA, 1993).

In addition, speckle noise in JERS-1 SAR images was reduced prior to image processing. The original image was filtered with the Gamma-Gamma Map filter with a 7-by-7 adaptive window.

### 3) Image processing

In this study, four image data sets are found to be particularly well suited for land degradation study as the

Table 3. Conversion coefficients for converting Landsat MSS DN to radiance.

Sensor	Acquisition date	Gain*	Offset*	Band
LANDSAT-1 MSS	19-09-1973	0.972349	0.000000	4
		0.784314	0.000000	5
		0.690196	0.000000	6
		0.522874	0.000000	7
LANDSAT-2 MSS	12-07-1977	0.999900	8.000000	4
		0.666667	6.000000	5
		0.572549	6.000000	6
		0.449673	3.666670	7

\*These data are recorded on the .wo (extension) file in the CD-ROM of Landsat MSS data.

Table 4. Coefficients for converting JERS-1 OPS DN to radiance.  
(modified from SHIMADA and NAKAI, 1993).

Sensor	Acquisition date	Normal gain			Band
		A'	A	B	
JERS-1 OP	19-09-1993	0.7099	1.1460	-0.6928	1
		0.9200	1.1840	-4.4450	2
		0.9597	1.1760	-4.0660	3
JERS-1 OP	24-08-1995	0.7099	1.1460	-0.6928	1
		0.9200	1.1840	-4.4450	2
		0.9597	1.1760	-4.0660	3

study area is morphologically plain and the solar elevation angle is similar for these images. The images were acquired in nearly the same season (from mid July to mid September) and under similar atmospheric conditions (clear) on the acquisition dates. Therefore, atmospheric correction was not performed prior to image processing, and the DN values were converted to radiance values.

According to PICKUP (1989) and BEHNKE and SCOONES (1994), land degradation can be quantified in terms of (1) soil loss; (2) loss of soil quality, *e.g.*, nutrient loss and/or soil compaction; (3) a decline in vegetation (forage) production; or (4) a change in vegetation species composition contrary to management goals (WASHINGTON-ALLEN *et al.*, 1998). Therefore, in this study we focus on the changes in land cover types from 1973-1995 using SAVI as an index for land cover changes. SAVI is a normalized ratio of near-infrared (NIR) and red (RED) radiance of sensors and has been related to an arid area's vegetation coverage. SAVI is given as:

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} (1 + L) \quad (3)$$

for vegetation with intermediate density; the adjustment is obtained for  $L=0.5$  (ISHIYAMA *et al.*, 1996). The Landsat SAVI images were generated using Band-4 (NIR) and Band 2 (RED). The JERS-1 OPS SAVI images were generated using Band-3 (NIR) and Band-2 (RED) (Fig. 3).

## 5. Change Detection

### 1) Statistical normalization

As mentioned above, images used in this study are composites of two OPS images and two MSS images. MSS has four channels and OPS has three channels in

the visible and infrared ranges. Therefore, even if each image were radiometrically normalized prior to image processing (for example calculation of SAVI), some invariant targets, particularly between different sensors, would differ in the range of DN values. For example, the difference in SAVI values derived from different sensor is larger than the difference in SAVI values derived from the same sensor. Since the differences in SAVI values for the same invariant target are very small, they can be neglected for data from the same sensor, but not for data from different sensors. Therefore, in our study the SAVI images of 1977 and 1973 are assumed to be well suited for image difference analysis as the data were acquired with the same sensor (MSS). In contrast, SAVI image pairs of 1995 and 1977, 1995 and 1973, and 1993 and 1977 are not well suited for image differencing as the data were acquired with different sensors (even through radiometrically normalized prior to image differencing). To remove the difference of SAVI values in the same invariant target between different sensors, we used statistical normalization methods. For example, for SAVI93 (SAVI image derived from image of 1993) and SAVI77, the SAVI77 was considered as a reference image (for example code it as image 1), then the SAVI93 was considered as the image to be normalized (image 2). To match the SAVI values of several representative invariant targets in image 2 (images to be normalized) to image 1 (reference images), linear transformation was applied to all the SAVI images.

The main objective of the statistical normalization procedure is to have the DN value of each selected invariant target in image 2 match that of the corresponding invariant target in the reference image, provided that the surface type represented by the invariant target did not change. The procedure involves the following steps:



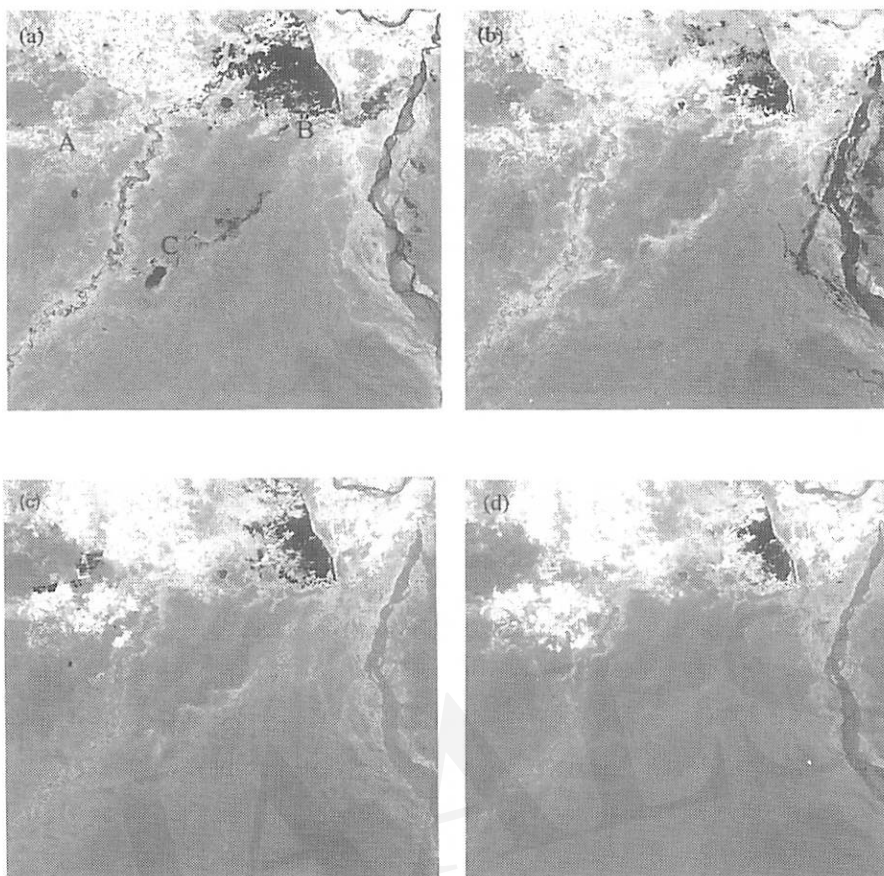


Fig. 3. Time series images of the study area.

(a) SAVI73, (b) SAVI77, (c) SAVI93, (d) SAVI95. Bright areas represent highly vegetated areas including farmlands, and dark areas represent water or lowly vegetated areas including bare land and mobile dunes. Note that there were significant changes in land surface including water area and vegetation coverage during the period of 1973-1995 (note the places labeled A, B, and C in image (a) and the corresponding places on the other images).

- (1) The linear correlation coefficients between the SAVI values of selected invariant targets in two images were calculated.
  - (2) The linear regression equation between the SAVI values of selected invariant targets was then computed (Fig. 4). The agreement between the two images (reference image and image to be normalized) was very good.
  - (3) Images to be normalized were transformed on a pixel-by-pixel basis using the regression equation obtained in step (2).
  - (4) This procedure was carried out between images acquired by different sensors only.
- As a result, the DN values in the several (eight invari-

ant targets including clean water, bare land and dense vegetation) invariant targets on both images were made equal, and the images to be difference processed became more alike.

## 2) Image differencing

For the time series changes in land cover types, particularly in vegetation coverage, an image differencing method was adopted for pixel-by-pixel comparison of the changes that have taken place between image acquisition periods (between 1973 and 1995). As mentioned above, for four image data sets, which include two MSS images and two OPS images, it was possible to generate 12 different image differencing combinations. Since the



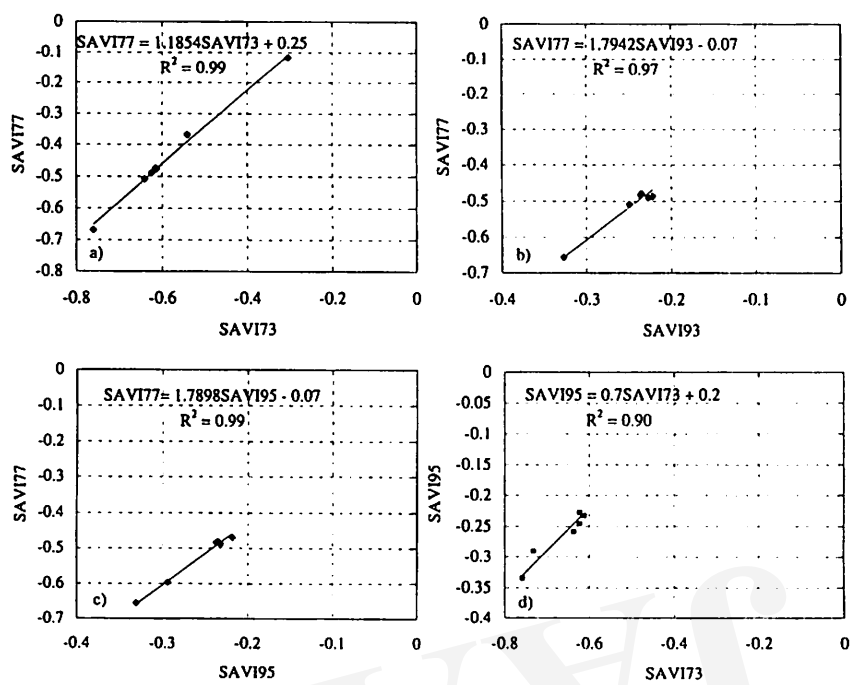


Fig. 4. Linear regression models between SAVI images.  
a) SAVI73 vs SAVI77, b) SAVI93 vs SAVI77,  
c) SAVI95 vs SAVI77 and d) SAVI73 vs SAVI95.

objective of this study was to clarify the dynamics of vegetation coverage between 1973 and 1995, only four effective SAVI difference images were generated from interannual image data sets. Four combinations of image differencing products were thus used to detect change between these difference images at intervals of 4 (1977-1973), 16 (1993-1977), 18 (1995-1977) and 22 years (1995-1973), where image differencing was calculated as:

$$\text{LATER IMAGE} - \text{FORMER IMAGE} + 10 \quad (4)$$

where, 10 is a constant to remove negative values. Subsequently, four SAVI difference images were generated by subtracting the former images from the later images (Fig. 5).

6. Results and Discussion

In many remote sensing applications, change detection analysis has proven suitable for observing land cover changes and land cover type changes. Based on the

method described above, the land cover change detection method presented here permits the quantitative analysis and comparison of transformed image data (SAVI), obtained from the same or different sensors, at different image acquisition times. Land cover type changes, particularly SAVI changes, could thus be estimated for the study area over the 22-year period between 1973 and 1995. Finally, four maps of SAVI index changes were produced from the analysis.

1) SAVI images

Various vegetation indices have been developed based on discrete RED and NIR bands, for example NDVI, RVI, and SAVI. According to ELVIDGE and CHEN (1995), the estimation of some vegetation indices and percent green cover based on vegetation indices can be highly inaccurate in broad-band data sets of regions having discontinuous plant canopies and spectral variations in background rock, soil, and litter materials. The background effects are most pronounced in NDVI and RVI.

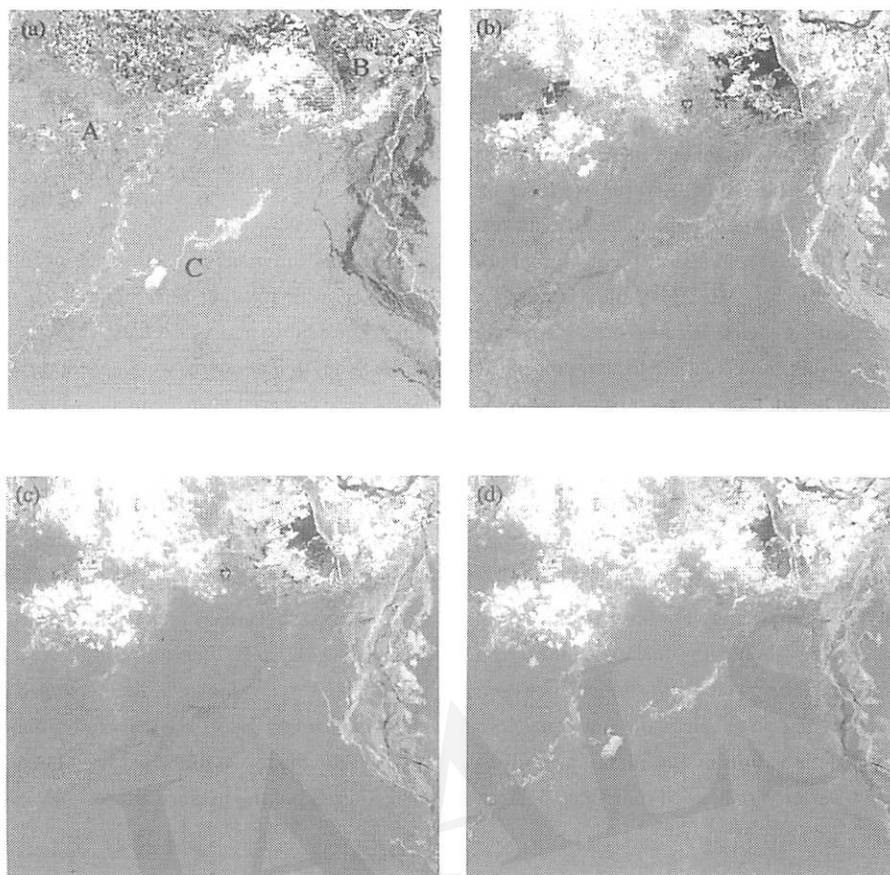


Fig. 5. Comparison of SAVI difference images of the study area.

(a) SAVI77-SAVI73, (b) SAVI93-SAVI77, (c) SAVI95-SAVI77 and (d) SAVI95-SAVI73.

White represents positive changes, and black represents negative changes as derived by image differentiation between SAVI images. Gray represents no changes or least changes. Note that the places labeled A, B, and C in image (a) changed significantly during the period of 1973-1995 (note corresponding places with A, B, C on the other images).

Background effects can be reduced using the TSAVI, PVI, and SAVI vegetation indices. In this study, we used SAVI as a vegetation index in the study area to overcome the above described soil background effects (ISHIYAMA *et al.*, 1996).

The vegetation coverage was estimated from equation (3). In the resultant SAVI images (Fig. 3), highly vegetated areas such as dense forests, farmlands and oases areas appear in bright tones. The relatively poorly vegetated areas, including fixed, semi-fixed, and mobile dune areas, appear in gray tone. Water areas exhibit different characteristics due to differing depths and clearness of the water. Clear and deep water such as

reservoirs, rivers and lakes in the study area are dark in the SAVI images. Some wet areas after floods appear in gray tones. However, the range of SAVI values in the four images is different.

## 2) Image differencing

The image differencing procedure was performed on a pair of SAVI images of the same area using formula (4). Generally, the early image was subtracted from the later image. The resultant SAVI images do not include negative SAVI values since a constant (10) was added during the image differencing. Additionally, some of the simple statistics and histogram data plots which were

extracted from images are depicted in Fig. 6.

According to PRAKASH and GUPTA (1998), when the difference image is Gaussian in nature, unchanged pixels are centered around the mean while the tail regions on either side of the histogram contain information about the changed area. In this study, however, we focus on the properties of the histogram of the difference images, the widths of the two tail regions of the histogram are quite different (Table 5). Misregistration is a major problem in image differencing because it may generate artifact changes during the change detection procedure. This problem can be addressed by statistical methods. According to SINGH (1989) and WASHINGTON-ALLEN *et al.* (1998), the standard deviation of a difference image establishes a threshold level at which changes were deduced (SINGH, 1989). Singh recommended a threshold level of  $\pm \delta$  (standard deviation) to contain any misregistration (around the mean value). For image differencing, unchanged pixel values should be equal to 0 in theory (in this study they should be equal to 10). In fact, however, most of the unchanged pixel values did not equal zero (10) due to misregistration of the image as well as atmospheric and sensor variations. From Table 5, it can

Table 5. Statistics of the difference SAVI images.

Image difference	Mean	Median	Mode	Standard deviation
SAVI77-SAVI73	9.99	9.99	9.99	0.11
SAVI93-SAVI77	10.07	10.02	10.00	0.16
SAVI95-SAVI77	10.11	10.02	9.99	0.23
SAVI95-SAVI73	10.06	10.01	9.99	0.14

be seen that the mode of each image histogram is most coincident with 10 (than other values such as the mean), which equals the value of unchanged pixels in theory (10 in this study). Therefore, we found that the unchanged pixels were centered near the mode, while tail regions on either side retain information about the changed pixels (Fig. 6).

In this study, we realized that the threshold level range of  $\pm \delta$  (around the mean value) is not ideal for accounting for the misregistration. When we use a threshold range of,  $\pm \delta$  many substantially changed pixels are categorized as unchanged pixels, therefore some artifact categorization of pixels was generated. As mentioned above, since many unchanged pixels are centered around the mode, we used the mode  $\pm \delta$  threshold level of each difference image instead of the mean  $\pm \delta$  threshold level. All pixel

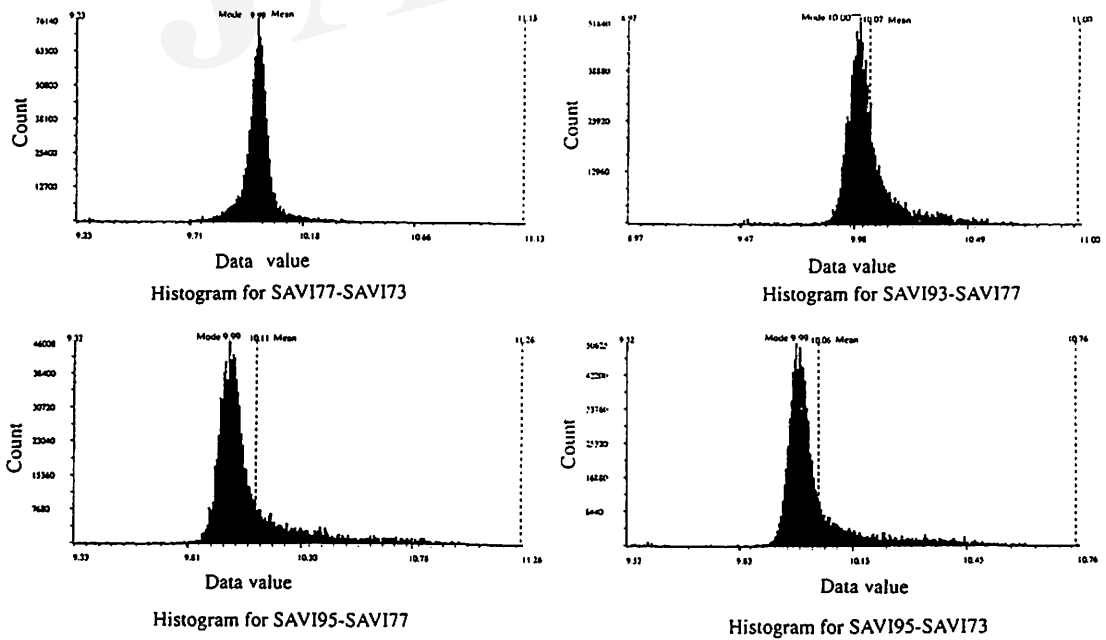


Fig. 6. Relations between mean and mode of the histograms.

values within  $\text{mode} \pm \delta$  (near the mode) are thus assumed to be unchanged pixels, and tail regions on either side are assumed to contain information about the positive (gain) and negative (loss) changed pixels. The difference images are shown in Fig. 7.

### 3) Density sliced images

The difference images were density sliced and color coded using the above threshold selection method to distinguish unchanged pixels from changed pixels. The threshold boundary between changed pixels and unchanged pixels is determined according to the following rules:

$\text{Mode} \pm \sigma = \text{DN value of SAVI difference image}$   
unchanged pixels

$\text{Mode} + \sigma < \text{DN value of SAVI difference image}$   
positively changed pixels (gain)

$\text{Mode} - \sigma > \text{DN value of SAVI difference image}$   
negatively changed pixels (loss)

In this study, we used one-standard-deviation density slice SAVI difference images as resultant images. The positive changes in the difference images denoted that the SAVI values of the former image were larger than the later one. Similarly, the negative values denoted that the SAVI values of the former image were smaller than the later one. Positive changes that represent an increase in vegetation cover between the two image acquisition periods (*e.g.*, acquisition time of each image). Negative changes represent a decrease in vegetation cover or an increase in lower SAVI values, such as bare land, water area, salt accumulation (including salinization), and mobile dunes (Fig. 7). The resultant images indicated that significant land cover changes have occurred between 1977 and 1973 (Fig. 7 (a)). However, the difference in vegetation coverage (SAVI) from 1973 to 1977 and from 1995 to 1973 suggested that natural vegetation has decreased in the image acquisition

periods. Additionally, Fig. 7 (a) and (d) images suggest that the lower reaches of the Yarkant River (including some small lakes and ponds) have dried up markedly over 4- and 22-year intervals (Table 6).

### 4) Causes of land degradation

The relationship between the distribution of rivers and the location of oases is very important. Generally, rivers exist where oases exist in the desert areas. In the Tarim Basin agriculture, grazing and many other kinds of production activities are all linked with the limited volume of river water (QONG, 1997).

It can be seen that the discharge of the Yarkant River, which flowed to the lower reaches, decreased sharply from 1973 to 1977 (Fig. 2 (a) and (b)). As a result, the discharge of the Yarkant River entering the Tarim River was almost cut off in 1977, and the water area of the reservoir was reduced because of the water supply shortage (Fig. 2 B in image (a) and corresponding places in other images). In the study area, the river discharge is mainly concentrated in the spring and summer seasons and accounts for 60% to 70% of the annual discharge. Sometimes floods occur during the snowbreak season. However, the annual discharge is relatively stable. It makes up the main part of the water resources and plays an important role in maintaining the ecological environment in the study area. There are many lakes in and around this site. These lakes (including reservoirs) are important surface water resources. In particular, fresh water lakes can be used as irrigation water for agriculture. Additionally, some river water infiltrates into the groundwater along the channels. The river water leakage thus plays adjustment and supply roles in supplementing groundwater along the river channels. However, the lower reaches of the Yarkant River, especially in and around the study area, have almost dried up. Consequently, vegetation coverage character-

Table 6. Land cover changes in the study area during 1973-1995.

Image difference	Total area km <sup>2</sup>	No change area		Positive change area		Negative change area	
		km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
SAVI77-SAVI73	6,328	5,536	87.5	446	7.0	346	5.5
SAVI93-SAVI77	6,328	5,232	83.0	967	15.0	129	2.0
SAVI95-SAVI77	6,328	5,116	81.0	1,169	18.4	43	0.6
SAVI95-SAVI73	6,328	5,129	81.1	1,167	18.4	31	0.5

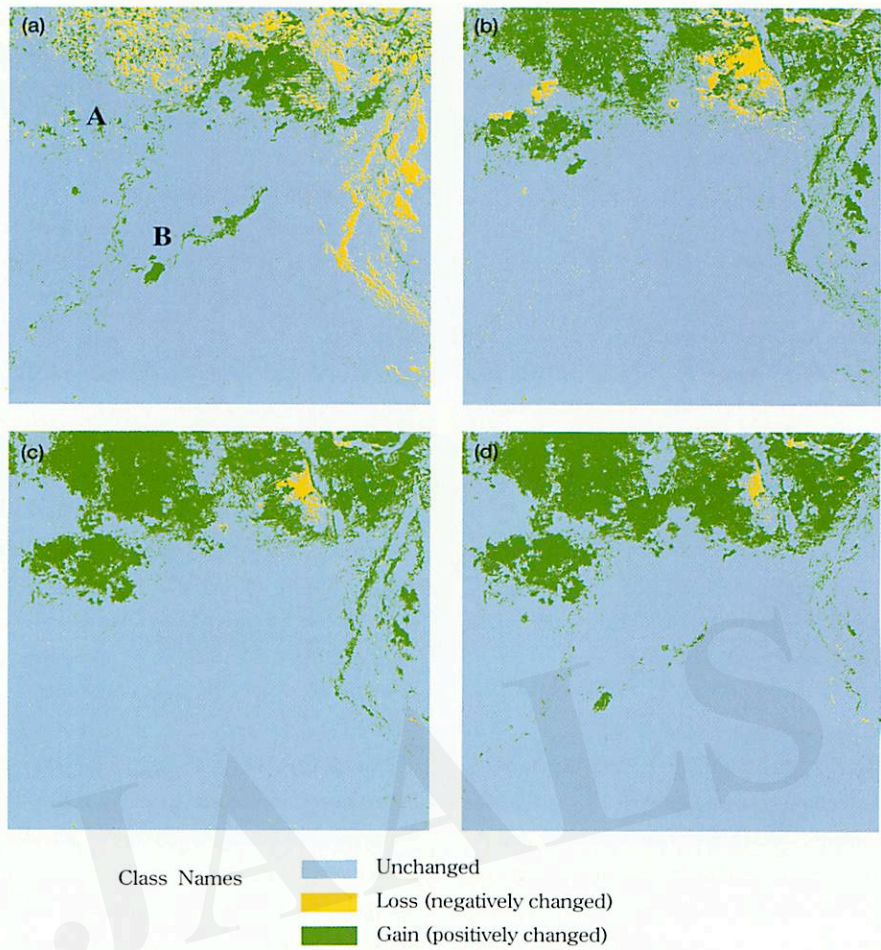


Fig. 7. Comparison of density sliced SAVI difference images of the study area.  
(a) SAVI77-SAVI73, (b) SAVI93-SAVI77, (c) SAVI95-SAVI77 and (d) SAVI95-SAVI73.  
Note that there were major changes at A and B and corresponding places on the other images.

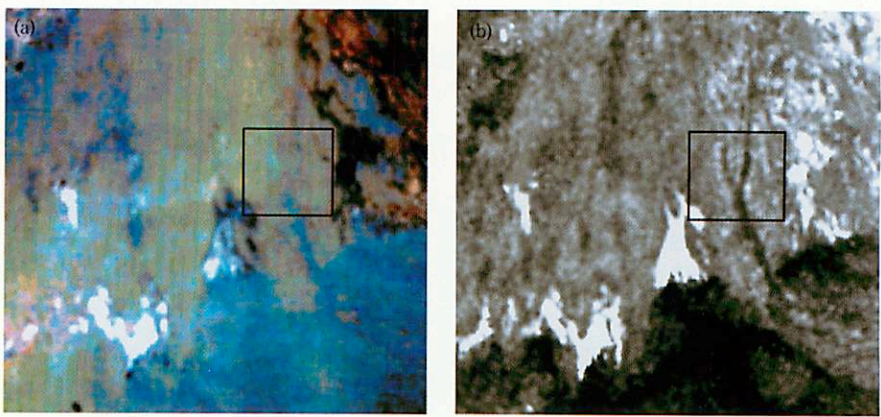


Fig. 8. Comparison of the JERS-1 OPS and SAR images of the study area.  
(a) JERS-1 OPS image of 19 September 1993 (bands 3, 2, 1 shown in RGB), (b) JERS-1 SAR image of 28 July 1993. Note that a buried channel, not discernible on JERS-1 OPS, is shown by JERS-1 SAR image in the area within the boxes. The intensely bright area on the south of the SAR image is a district of strongly salinized area, a powerful reflector of radar energy. Dark areas represent zones where the radar signal was mainly scattered or absorbed.

istics will change due to the lowering of the groundwater level, since most of the vegetation is composed of phreatophytes in the study area. In Fig. 2, accumulated-salt areas in the lower middle part of the images appear in different tones in different images. In particular, the salt accumulation appears dark gray in images except in 1993 where it appears in bright tones. By comparing these four images, we can see that the river discharge (the Hotan River flowing from south to north on the right of the images) during the image acquisition period in 1993 is less than in other years. These phenomena decreased the ground water supplement, and lowered the ground water level in the accumulated-salt area. As a result, the land surface became drier during this period than in other periods and appears in bright tones.

The above land cover changes were derived from SAVI only, but many substantially land cover changes have occurred, particularly in poorly vegetated areas such as semi-mobile and mobile dune areas, in the study area between 1973 and 1995. For example, some mobile sand dunes invaded the wadi and filled old channels with sand. This kind of underground information will be obtained when we use the Synthetic Aperture Radar (SAR) images especially in arid areas (Fig. 8). In this figure, old channels that are already buried under the sand appear a darker gray than the other areas, and we cannot distinguish corresponding objectives (those buried channels in the SAR image) in the optical sensor images of the same area.

## 7. Summary

Four optical sensor images and one SAR image were used in the land cover change detection analysis in this study. The following section summarizes this study.

(1) Important components in change detection are radiometric calibration and image correction (KWARTENG and CHAVEZ, 1998). In this study, we conducted statistical normalization using the calibration coefficients of each data set prior to image differencing (radiometric normalization was performed prior to statistical normalization) in order to perform image differencing between images acquired from different sensors. Consequently, the DN values of several invariant targets (clean water, bare land and dense vegetation) on both images were made equal

and became more alike. To account for uncertainties in change detection analysis, especially between different sensors, we conducted statistical (image-to-image) normalization.

(2) When we use  $\pm \delta$  around the mean value, as recommended by WASHINGTON-ALLEN *et al.* (1998), PRAKASH and GUPTA (1998) and others, many substantially changed pixels are categorized as unchanged pixels, resulting in some artifact categorization of pixels. In this study, we realized that since many unchanged pixels were centered around the mode (in the histogram of the SAVI difference images), we should use the mode  $\pm \delta$  threshold level of each difference image. All pixel values within the mode  $\pm \delta$  range (near the mode) are thus assumed to be unchanged pixels, while tail regions on either side are assumed to contain information about the positively (gain) and negatively (loss) changed pixels.

(3) Our study provides estimates of land cover changes (land degradation) in the study area. The rates of land cover changes were larger between the 1977-1973 image and the 1995-1973 image than between the 1993-1977 image and the 1995-1977 image, and the land degradation was concentrated in the periphery of oases, along the river channels, and in poorly vegetated areas. The above changes were related to vegetation coverage and were derived from SAVI difference images. In addition, we could detect some land cover (surface) changes such as sand invasion using SAR images.

## Acknowledgement

The authors would like to thank Prof. Dr. Kiyoshi TSUCHIYA (at Hiroshima Earth Environmental Information Center) and Dr. Takashi ISHIYAMA (at CEReS, Chiba University) for providing ground truth data (they conducted two field investigations from 1991 to 1993 in and around study area) and for useful discussions.

## Reference

- BEHNKE, R.H. and SCOONES, I. (1994): Rethinking range ecology: Implications for rangeland management in Africa. In BEHNKE, R.H., SCOONES, I. and KERVEN, C. eds., *Range Ecology at Disequilibrium*, London: Overseas Development Institute, International Institute for Environment and Development, and Commonwealth Secretariat, London, 1-30.
- BRIAN, L. and BAKER, J.L. (1987): Radiometric properties of U.S. processed Landsat MSS data. *Remote Sens. Environ.*, **22**: 39-71.



- DWIVEDI, R.S. and SREENIVAS, K. (1998): Image transforms as a tool for the soil salinity and alkalinity dynamics. *Intern. J. Remote Sensing*, **19**: 605-619.
- ELVIDGE, C.D. and CHEN, Z.K. (1995): Comparison of Broad-Band and Narrow-Band Red and Near-Infrared Vegetation Indices. *Remote Sens. Environ.*, **54**: 38-48.
- FRIHY, O.E., DEWIDAR, Kh. M., NASR, S.M. and EL RAEY M.M. (1998): Change detection of the northeastern Nile Delta of Egypt: Shoreline changes, Spit evolution, margin changes of Manzala lagoon and its islands. *Intern. J. Remote Sensing*, **19**: 225-235.
- HILL, J. and SURM, B. (1991): Radiometric correction of multitemporal Thematic Mapper data for use in agricultural land-cover classification and vegetation monitoring. *Intern. J. Remote Sensing*, **12**: 1471-1491.
- HUETE, A.R. (1988): A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sens. Environ.*, **25**: 295-309.
- IGARASHI, T. (1997): The Early Results from Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) onboard ADEOS. *Geocarto International A Multi-disciplinary J. Remote Sensing & GIS*, **12-4**: 47-50.
- ISHIYAMA, T., NAKAJIMA, Y. and KAJIWARA, K. (1996): Vegetation index algorithm for vegetation monitoring in arid and semi arid land. *J. Arid Land Studies*, **6**: 35-47.
- KADOMURA, H. (1997): *Data Book of Desertification/Land Degradation*. CGER, National Institute for Environmental Studies Environment Agency of Japan, 3-4.
- KWARTENG, A.Y. and CHAVEZ, P.S. (1998): Change detection study of Kuwait City and environs using multi-temporal Landsat Thematic data. *Intern. J. Remote Sensing*, **19**: 1651-1662.
- MARKHAM, B.L. and BARKER, J.L. (1987): Thematic Mapper bandpass solar exoatmospheric irradiance. *Intern. J. Remote Sensing*, **8**: 517-523.
- MUJIT, H. (1996): The flora and vegetation of the Taklimakan Desert: A summary. *J. Arid Land Studies*, **5**: 217-221.
- MILLER, A.B., BRYANT, E.S. and BIRNIE, R.W. (1998): An analysis of land changes in the Northern Forest of New England using multitemporal Landsat MSS data. *Intern. J. Remote Sensing*, **19**: 245-265.
- PICKUP, G. (1989): New land degradation survey techniques for arid Australia: Problems and prospects. *Australian Rangeland J.*, **11**: 74-82.
- PRAKASH, A. and GUPTA, R.P. (1998): Land-use mapping and change detection in a coal mining area—A case study in the Jharia coalfield, India. *Intern. J. Remote Sensing*, **19**: 391-410.
- QONG, M. (1997): Land degradation in the Tarim Basin. *A Dissertation Submitted to Risho University in Fulfilment of the Requirement for the Degree of Doctor of Philosophy in Geography*, 25-26.
- QONG, M. (1998): Evaluation of JERS-1/SAR data for vegetation type in the arid regions. *Proc. SPIE's First International Asia-Pacific Symposium on Remote Sensing of the Atmosphere, Environment, and Space, 14-17 September, China*, **3503**.
- QONG, M. and TAKAMURA, H. (1997): The formative process of the tamarix cones in the southern part of the Taklimakan Desert, China. *J. Arid Land Studies*, **6**: 121-130.
- RICHARDSON, A.J. and WEIGAND, C.L. (1977): Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogram. Eng. Remote Sensing*, **43**: 1541-1552.
- ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A. and DEERING, D.W. (1973): Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS. *Third ERTS Symposium*, NASA SP-351, NASA, Washington, D.C., **1**: 309-317.
- SHIMADA, M. (1993): *User's Guide to NASDAS's SAR Products, HE93014*. NASDA, 11-13.
- SHIMADA, M. and NAKAI, M. (1993): *Conversion Formula for OPS DN to Input Radiance*. Earth Observation Center, NASDA, HE-93066.
- SINGH, A. (1989): Review article: Digital detection techniques using remotely-sensed data. *Intern. J. Remote Sensing*, **10**: 989-1003.
- SUNAR, F. (1998): An analysis of changes in a multi-date data set: A case study in the Iketelli area, Istanbul, Turkey. *Intern. J. Remote Sensing*, **19**: 225-235.
- TSUCHIYA, K. and OGURO, Y. (1996): Taklimakan Desert as seen satellite-application of remote sensing. *J. Arid Land Studies*, **5**: 145-154.
- UNEP (1996): *Desertification Control Bulletin*. A Bulletin of World Events in the Control of Desertification, Restoration of Degraded Lands and Reforestation, 1-88.
- WANG, S. (1991): Natural condition in Aksu River-Tarim River system and its agricultural significance. *Arid Land Geography*, **14**: 1-5.
- WASHINGTON-ALLEN, R.A., RAMSEY, R.D., NORTON, B.E. and WEST, N.E. (1998): Change detection of the effect of severe drought on subsistence agropastoral communities on the Bolivian Altiplano. *Intern. J. Remote Sensing*, **19**: 1319-1333.
- ZENG, S. (1985): *A Review about the Historic Landforms*. Science Press, Beijing, 159-169.

## 衛星データから見た乾燥地域における環境変化 — 中国のホタン川とヤルカント川下流域を例として —

ムハタル チョン\*・五十嵐 保\*

LANDSAT-MSS (1973年、1977年観測の画像 3シーン) と JERS-1 OPS 画像 (1992年、1993年、1995年観測の画像 3シーン、うち 1シーンは SAR画像である) を用いて地表被覆変化の検出解析を行った。通常、植生に関する地表被覆変化の検出解析では、植生指標の NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)、PVI (Perpendicular Vegetation Index)、SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index) などが提案されているが、ここでは SAVI が採用された。画像処理としては、画像と画像の合わせ、放射量補正、画像の統計的正規化 (合わせ)、差画像、スライス処理、画像のカラー表現などを実施した。

特に、異なるセンサで観測された多時期画像データを用いて地表被覆変化の検出解析をするとき、放射量の補正が必要となる。各センサの校正差を補正するために、LANDSAT-MSS と JERS-1 OPS 画像データに対して放射量の校正を実施し、決められた各センサ固有のゲインとオフセット値を用いてデジタル値を放射輝度値に変換した。各画像データを処理 (例えば SAVI の計算など) する前に放射量の補正が実施されても、異なるセンサ間ではいくつかのインバリエント (invariant) 対象物の放射輝度値が多少異なることがあった。この差を除去するために、各画像の間で統計的な (statistical normalization) 正規化 (統計的な方法で画像と画像をあわせる) を実施した。その結果、各画像におけるインバリエントの対象物 (きれいな水、裸地、森林など) の放射輝度値が、この補正により等しくなり、画像が補正前より一層よく比較できるようになった。

最後に、一つの SAVI 画像からもう一つの SAVI 画像を引き算することにより差画像が生成された。差画像のヒストグラムの分布から研究期間中に変化がなかった画素がモード (mode、最頻数) 近辺に、変化があった画素がヒストグラムの両側に集中することが明らかになった。結果として、 $\text{mode} \pm \delta$  (mode の近辺) の区間に変化がなかった画素、 $\text{mode} \pm \delta$  を除いたヒストグラムの両側には変化があり、正值 (gain) と負値 (loss) とで表現される画素が分布していることが明らかになった。この研究では中国タリム盆地における 3つの大きい河川が合流する地域を研究対象地域とした。

キーワード：変化検出、放射量補正、統計的正規化 (合わせ)、SAVI、差画像、スライス処理



# 塩生バイオマス栽培への適用を目的とした 砂層中の横方向飽和浸透流解析・実験

松本 剛\*・小島紀徳\*・若林宏明\*\*

## 1. 緒 言

現在、世界の陸地の1/4～1/3が乾燥地または半乾燥地である。また、沙漠化問題は深刻で、世界で毎年600万haの土地が沙漠化しており、世界人口の6人に1人にあたる約10億人がその影響を被っているといわれている。とくに、沙漠化の危険性の高い半乾燥地は作物生産や牧畜など農業で生活している人口が多いことから、早急な対応が求められている。沙漠化防止、緑化による地球環境の保全と回復に対する努力は、今日、人類に等しく求められているところである(塩倉ほか, 1995; 安部ほか, 1996)。

乾燥地、半乾燥地で大規模な沙漠緑化や農地開発を行う場合、しばしば多量の灌漑水が用いられる。その際、灌漑水中の塩分ばかりではなく、塩を含んだ地下水が、土壌表面蒸発や毛細管現象により地中から上昇することがある。地表には塩分が集積し、さらに結晶化し、その様な状況では一般的な植物が生育できなくなる。

したがって、沙漠緑化開発に当たっては灌漑給水計画と並んで排水計画も大切である。塩類集積は、土や砂の粒子の大きさ、毛細管の太さ、土壌の塩分濃度、灌漑水量などと関係している。塩類集積を阻止する工夫や対策が必要である(松本, 1991)。

アメリカ・アリゾナ大学とその共同研究グループは、15年以上の期間、メキシコ、エジプト、UAE、クウェートなどの沿岸沙漠地域で試験的にハロファイトスを栽培している(OFFICE OF EXPLORATORY, APPLIED RESEARCH, 1993)。その結果、海水を引き込みやすい沿岸沙漠地域や地下塩水が存在する内陸沙漠地域において、ハロファイトスを生産できることを実証している(CHOUKR-ALLAH *et al.*, 1995)。しかしながら、海水を内陸に引き込み灌漑する場合、ポンプコストと排水処理法の困難性を考慮する必要があると指摘されている。

ハロファイトスは、塩濃度約5%まで生育可能であり、

生育可能地域や種類についても報告されている(GLENN *et al.*, 1991)。世界において地下塩水が得られる沙漠地域は、 $1.3 \times 10^6 \text{ km}^2$  (GLENN *et al.*, 1991)、ハロファイトス栽培によるCO<sub>2</sub>固定量は、0.6GtC/yr (GLENN *et al.*, 1994)と見積もられている。その他、ハロファイトスは燃料生産、飼料・食料生産、土壌劣化防止機能を有し(AYOUB and VMALCOLM, 1993)。また、ハロファイトス栽培による乾燥地域の気象改善の効果も報告されている(PIELKE *et al.*, 1993)。

そこで本論文では、海水灌漑で生育する植物である「ハロファイトス(耐塩性植物の総称)」を沙漠地域に大量植林する農場システムの開発を想定し、大規模灌漑の圃場設計例(農業土木学会, 1995)を参考に乾燥地における灌漑システムの設計を目的とした、すなわち、圃場に海水を灌水する際の土壌中の①横方向飽和浸透流モデル化、②灌漑水の浸透時間計算、③灌水・排水と塩濃度の関係、④排水処理方法について検討を行った。

## 2. ハロファイトス栽培圃場設計

海水灌漑によるハロファイトス栽培のための圃場設計を行った。

ハロファイトス栽培のためには以下が必要あるいは望ましいものと思われる。地下に塩水が浸透しないように、透水性の低いシルト・粘土で不透水層を設ける。その上層に透水性の高い礫層を設置し、灌漑・排水を行うことで、塩類集積を著しく抑制できる。礫層の上層には砂層を造成するが、砂層は近くの沙漠地域のものを利用できる。砂は透水性に優れているため、塩水を用いた植物・作物栽培には最適である。本論文で想定した圃場における上層構造をFig. 1に示す(庄司, 1965: 107; 金藤, 1978: 56-61)。

不透水層により地下への浸透を防ぎ、礫層に常に海水を灌漑することにより、短時間で地下帯水層が形成できる。砂層では植物を栽培し、その砂層へは地下灌水法

\* 成蹊大学工学部工業化学科

\*\* 金沢工業大学環境システム工学科

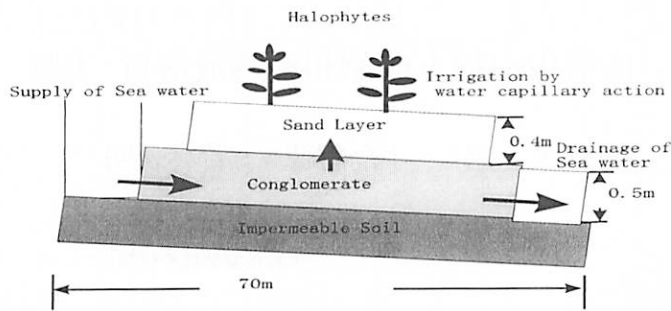


Fig. 1. Concept of Halophytes plot. Side cross section.

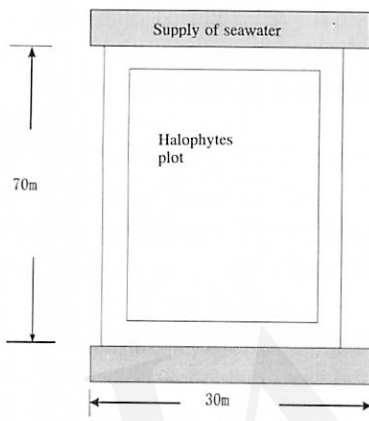


Fig. 2. Concept of Halophytes plot. Surface section.

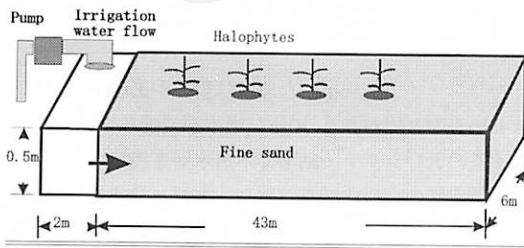


Fig. 3. Irrigation experiment of Halophytes. Bird's eye view.

を用いて灌漑する。地下灌水法は、毛細管現象により灌漑する方法であり、灌漑・排水兼用型として利用可能である（能野, 1974: 58-66）。

排水処理方法としては、再び海に戻すことも考えられるが、近くに海がなければ高塩濃度の排水を窪地に集め、蒸発により塩類を補集することも考えられる。また、対象地域は給水のためのエネルギーを抑えるため、沿岸地

Table 1. Experimental conditions for saturated infiltration measurement.

Item	Conditions
Size of plantation area	6m w × 43m l × 0.5m d
Quantity of irrigation water	1.4m <sup>3</sup> /h in average
Flux	0.21 ~ 1.75 L/s
Time of irrigation	7.0 h
Particle size of sand	0.125 ~ 0.25mm
Void fraction λ	0.45 for sand
Hydraulic conductivity, k	1.5 × 10 <sup>-4</sup> m/s for sand
Initial water level H <sub>0</sub>	0.1m
Water level H <sub>i</sub> (t=0)	0.5m
Depth h (length=0)	0.5m

域にあることが望まれる。

想定した圃場の平面図をFig. 2に示す。圃場は海水灌漑の1区画の大きさ縦70m×横30mと考え、これをもとに横方向の飽和浸透流のモデル化、必要水量計算、灌水・排水と塩濃度関係、排水処理について検討する。

### 3. 実験方法

金沢工業大学敷地内のハロファイトスプロットにおいて約7時間（灌漑全水量10t）灌漑し、灌漑開始後7時間までの横方向飽和浸透状態の経時変化を計測した。実験圃場の寸法と概要図をFig. 3に、また実験条件の詳細はTable 1に示した。

最初にビニールシートで砂地が水で濡れないように覆い、流入口に水が満水になってからビニールシートを外して灌漑した。ポンプ流量を制御することで常に流入口を灌水（水位0.5m）に保った。時間毎の地下水位は、流入口から2, 5, 7, 10, 12, 15, 23mに0.3m×0.3mの穴を掘り計測した（Fig. 4）。地下は灌漑水が浸透しないように粘土層の代用としてビニールシートにより止水し、

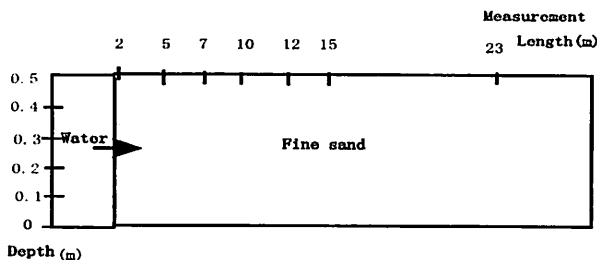


Fig. 4. Measurement point of irrigation experiment. Side view.

圃場の周囲は0.2m厚さのコンクリートで止水し、不透水層を形成している (Table 1, Fig. 3 参照)。

#### 4. 解析方法

ハロファイテス圃場設計のため、時間毎の浸透状況、灌漑必要水量、浸透時間を、まず砂層における文献 (地下水ハンドブック編集委員会, 1979) に基づいて計算し、実験値との比較を行った。ついでパラメータを変え、想定する圃場の砂層の下に位置する礫層についても計算を行った。 $t$ 時間後の $x$ 地点での水浸透状況は、初期水位 $H_0$ の砂地に、水位 $H_1$ で横方向から灌漑するときの流れを考える。すなわち水位上昇と横方向の流れの関係式は (1) 式で表される。

$$\lambda \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$h$ : 位置 $x$ における水深 (m),  $\lambda$ : 間隙率,  $t$ : 時間 (s)

(1) 式に, (2) 式のダルシー則から得られる

$$u = -\frac{k \partial h}{\partial x} \quad (2)$$

$k$ : 透水係数 ( $1.5 \times 10^{-5}$  m/s)

を代入して次式を得る。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{k}{\lambda} \frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial h}{\partial x} \right) \quad (3)$$

透水係数を求める経験式としてテルツアギの公式 (伊藤, 1995: 27-30) を用いた。

$$k = (C_t / \eta) * \left[ (n - 0.13)^2 / (1 - n) 2/3 \right] * D_{10}^2 \quad (4)$$

$C_t$ : テルツアギの定数 (2.6),  $\eta$ : 水の粘性係数 (g/cm $\cdot$ s),  $n$ : 砂の間隙率 (—),  $D_{10}$ : 粒径加算間隙10%有効径 (cm)

圃場の水位が初期水位 $H_0$ から、 $t = 0$ で急に $H_1$ だけ上昇する場合を考える。

$$\eta = \frac{x \sqrt{\lambda}}{2 \sqrt{k H_1 t}}, \quad u = \frac{h - H_0}{H_1} \quad (5)$$

$H_0$ : 初期水位,  $H_1$ :  $t = 0$ 時の水位

変数を交換すると、式 (2) は (6) の非線形常微分方程式となる (Fig. 7 参照)。

$$\frac{d^2 u^2}{d\eta^2} + \left( \frac{2}{\beta} \right) \frac{d^2 u}{d\eta^2} + 4\eta \frac{du}{d\eta} = 0 \quad (6)$$

ここに、 $\beta = H_1/H_0$ である。式 (6) の解は、線図 (地下水ハンドブック編集委員会, 1979: 276) に与えられている。以上の理論式を利用して距離 $x$ において浸透時間に対応する $h$ を計算することができる。

#### 5. 試験圃場による実験および解析結果の考察

Fig. 5, Fig. 6 に砂層浸透解析実験結果を比較して示す。両者はほぼ一致していることがわかる。

解析・実験結果の差異の原因としては、間隙率のばらつき0.35～0.55もあげられよう。圃場の土層の砂は下層の砂に比べ間隙率は比較的高かった。これらの違いが透水係数 $k$ に影響し、計算結果との差異を生じている可能性がある。

透水係数 $k$ の計算には、テルツアギの実験式を用いた。透水係数に対しては、灌漑水の粘性係数 $\eta$ と間隙率 $n$ が影響を与える主要因である。粘性係数が一定のとき、間隙率が0.35から0.55に変わると透水係数は4.7倍大きくなる。

また、Fig. 7 より礫層中の浸透は十分速いことがわかる。礫層で灌漑・排水することにより、地下灌漑が可能であると考えられる。

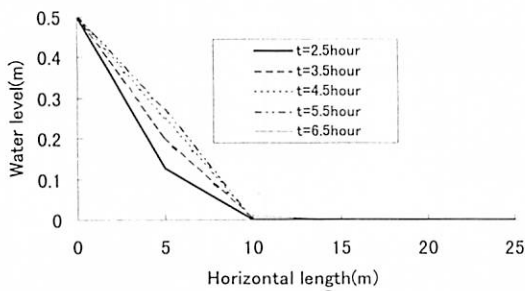


Fig. 5. Water level (Analysis).

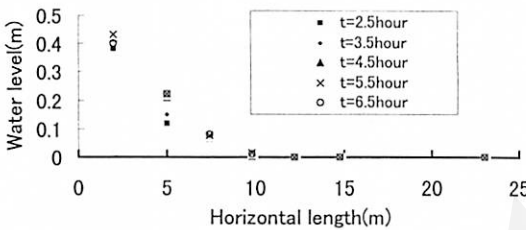


Fig. 6. Water level (Experiment).

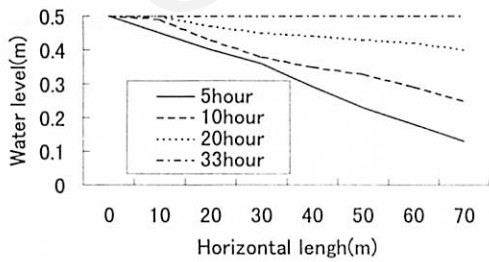


Fig. 7. Results of Infiltration analysis of conglomerate.

6. 圃場設計へのモデルの適用

横方向飽和浸透実験・解析を行った結果、Fig. 5, 6 に示すように実験値・解析値はほぼ一致しており、モデル化が可能となった。そこで、これらの横方向飽和浸透流解析を用いて圃場設計のための浸透流計算を行った。

式 (6) を用い、パラメータをTable 2 に示す設計圃場の値に設定したときの解析結果をFig.7に示す。流れですべて満たされるためには、約33時間であることがわかった。

礫層解析結果においては、下層に水が浸透しやすく、短時間で下層が帯水層になると考えられる。常時灌漑水を流すことにより、灌漑による脱塩作用がなされ、塩類集積はある程度防げると考えられる。

また、海水灌漑では圃場での塩類集積の問題が重要である (鈴木, 1968: 108-109)。必要水量と塩分濃度の関係式は、塩水の密度変化を無視すれば以下のように表すことができる。概要をFig. 8 に示す。

$$q_i C_i = q_o C_o \tag{7}$$

$$\Delta q = q_i - q_o \tag{8}$$

$\Delta q$  : 蒸発量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) ,  $q_i$  : 灌水量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) ,  $q_o$  : 排水量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) ,  $C_i$  : 灌水の塩濃度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) ,  $C_o$  : 排水の塩濃度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

Table 2. Conditions for numerical analysis of saturated infiltration.

Item	Conditions
Size of plantation	30m w $\times$ 70m l $\times$ 0.5m d
Void fraction $\lambda$	0.30
Hydraulic conductivity, k	$1.0 \times 10^{-2} \text{ m/s}$
Initial water level $H_0$	0.1m
Water level $H_1$ ( $t=0$ )	0.5m
Depth h (length=0)	0.5m

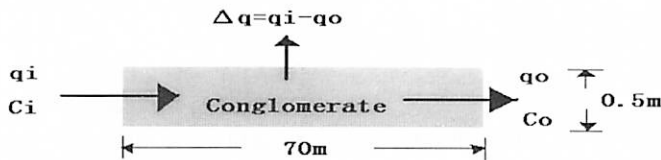


Fig. 8. Relation between irrigation water and salinity.

Table 3. Relation between irrigation water and salinity.

Item	Values
Quantity of irrigation, $q_i$	9.5m <sup>3</sup> /h In case of Seawater 3%
Inlet salt concentration, $C_i$	In case of Saline water 1.5%
Outlet salt concentration, $C_o$	Salt concentration of upper limit for Halophytes, 5%

ここで、 $C_o$ としてはハロファイトス生育可能上限塩濃度 50kg/m<sup>3</sup>を用いた。パラメータ値をTable 3に示す。

圃場への海水灌水量は、解析結果から  $q_i = 70(\text{m}) \times 30(\text{m}) \times 0.5(\text{m}) \times 0.3/33(\text{h}) = 9.5\text{m}^3/\text{h}$  である。沙漠地域では約0.23mm/h(2,000mm/y)が可能蒸発量であり、圃場面積は  $70 \times 30 = 2,100\text{m}^2$  である。よって蒸発量  $\Delta q = 0.48\text{m}^3/\text{h}$  となる。この数字を(7),(8)式に代入することにより、海水流入  $C_o = 50\text{kg}/\text{m}^3$  の場合には最大塩濃度  $C_i = 47\text{kg}/\text{m}^3$  まで灌漑可能であることがわかる。

7. 結 言

ハロファイトスによる沙漠緑化の可能性の1つとして、海水・塩水による灌漑について検討し、栽培圃場設計のための横方向飽和浸透流のモデル化を行った。

礫層においての必要浸透時間を計算した結果、本実験条件では33時間であることがわかった。本手法は、圃場設計に適用可能であることが示された。

また解析結果より、圃場設計に必要な灌漑水量は9.5 m<sup>3</sup>/hであり、海水流入  $C_o = 50\text{kg}/\text{m}^3$  の場合には、最大入土塩濃度  $C_i = 47\text{kg}/\text{m}^3$  まで灌漑に利用可能であることがわかった。このように、現地条件に適した最大塩濃度を求めることが可能である。

引用文献

安部征雄・小島紀徳・遠山権雄 (1996):『沙漠物語』森北出版。

地下水ハンドブック編集委員会 (1979):『地下水ハンドブック』建設産業調査会。  
伊藤 実 (1995):『よくわかる土質力学例題集』工学出版。  
金藤 登 (1978):『かんがい農場設計の手引』地球社。  
松本 聡 (1991):土壌の塩類集積と沙漠化。『土と基礎』42: 19-24。  
農業土木学会 (1995):『農業土木ハンドブック』新日本印刷株式会社。  
塩倉高義 (1995):『砂漠緑化へのチャレンジジブチ共和国での試み』信山社。  
鈴木義春 (1968):『灌漑・排水とポンプ利用』地人書館。  
庄司英信 (1965):『揚水機と灌漑・排水』養賢堂。  
龍野得三 (1974):『ハウス栽培と水』日本イリゲーションクラブ。  
AYOUB, A.T. and MALCOLM, C.V. (1993): *Halophytes for Livestock, Rehabilitation of Degraded Land and Sequestering Atmospheric Carbon*. UNEP Environment Management Guidelines, Nairobi Kenya.  
CHOUKR-ALLAH, R., MALCOLM, C.V. and HAMDY, A. (1995): *Halophytes and Biosaline Agriculture*. Marcel Dekker, New York.  
GLENN, E.P., KENT, K.J., THOMPSON, T.L. and FRYE, R.J. (1991): *Seaweeds and Halophytes to Remove Carbon from the Atmosphere*. EPRI ER/EN-7177 Project 8011-3 Final Report, Chap. 2.  
GLENN, E., OLSEN, M., FRYE, R. and MOORE, D. (1994): *Use of Halophytes to Remove Carbon from the Atmosphere*. EPRI TR-103310 Project 8011-03 Final Report, Chap. 3.  
OFFICE OF EXPLORATORY, APPLIED RESEARCH (1993): A rich harvest from Halophytes. *EPRI J.*, 18:16-23.  
PIELKE, P.A., LEE, T.J., GLENN, E.P. and AVISSA, R. (1993): Influence of Halophytes plantings arid regions on local atmosphere structure. *Intern. J. Biometeorology*, 37: 96-100.

## Analysis and Experiment of Lateral Flow in Saturated Sand for Halophytes Plantation

Tsuyoshi MATSUMOTO\*, Toshinori KOJIMA\* and Hiroaki WAKABAYASHI\*\*

Global scale desertification problems are still aggravating. In case of large desert greening, excess irrigation often causes salt accumulation in the top soil layer, some years after the start of irrigation. Water level is raised by capillary action under high evaporation rate condition in desert. Ideas of greening desert by Halophytes (Salt tolerant plants) have so far been presented. Halophytes are characteristic plants that grow using seawater or saline water. They can be used for alternative biomass fuel, animal fodder, food, soil fertility improvement, and CO<sub>2</sub> fixation.

This paper describes the design method of irrigation of Halophytes using saline water. In the layer of the conglomerate, water horizontal infiltration behavior through saturated soils is essential for designing of Halophytes plantation.

Using a horizontal infiltration model, the necessary quantity of irrigation water and relation between irrigation water and salt concentration are discussed.

Experiments were also conducted using a Halophytes plantation site established in Ishikawa, Japan. In the present experiments, we measured the time variation of water level in the plantation area during irrigation.

The results well agreed with the model prediction. It was confirmed that these model can be applied to horizontal infiltration, and can be used to estimate the quality of drainage.

Transient flow analysis was also made for the water flow for a plot scale field with its length of 70m. It was estimated that 33 hours are required for water to reach the end. It was also found that the evaporation rate should be limited to 3.8m<sup>3</sup>/h to keep the salt concentrate less than 5% which is the upper limit of Halophytes plantation.

**Key Words:** Desertification, Halophytes, Irrigation, Transient flow, Drainage

---

\* Department of Industrial Chemistry, Seikei University, 3-3-1, Kichijojikita-machi, Musashinoshi, Tokyo 180-8633, Japan.

\*\* Department of Environmental Systems Engineering, Kanazawa Institute of Technology, 7-1, Ohgigaoka Nonoichi, Ishikawagun, Ishikawa 921-8812, Japan.

# Life-cycle Evaluation of Solar Home System and Small Engine System in Rural Areas

Kazuhiko KATO\* , Hiroshi FUKUNAGA\* and Koichi YAMADA\*\*

Photovoltaic (PV) power generation system is an almost maintenance and fuel free technology, and independent of efficiency on system capacity. These advantages of the PV system suggests an application for rural areas isolated far from utility grid, which is called the "Solar Home System". The Solar Home System consists of small capacity of PV modules (50-200W) and standard car batteries.

In this paper, energy-effectiveness, environmental impact and economics of the Solar Home System were discussed from a life cycle viewpoint. Comparing it with a small engine generator that is often used in that area, we evaluated the Solar Home System using three kinds of life-cycle indicators, that is, "energy payback time", "CO<sub>2</sub> emission payback time" and "cost payback time". The result suggested that the SHS was an attractive energy source even with the existing technologies and could be much better in the future.

**Key Words:** Photovoltaic solar cell, Solar Home System, Life-cycle assessment

## 1. Introduction

Recently the interest in the global warming is growing in the world and a great deal of CO<sub>2</sub>, which is one of major greenhouse gases, is released from energy use. In Japan various efforts are being made to reduce CO<sub>2</sub> emissions and photovoltaic (PV) power generation system is expected to be a candidate for a sustainable energy source.

As the PV system requires considerable energy to be manufactured, however, the life cycle of the PV system must be taken into consideration so as to understand its net CO<sub>2</sub> mitigation potential. For this purpose authors previously carried out the life cycle assessment (LCA) for residential rooftop PV systems installed in Japan (KOMIYAMA *et al.*, 1995). The result clarified that the PV system had a high potential for CO<sub>2</sub> reduction though the

generation cost was not as cheap as electricity charge in the residential sector.

On the other hand the PV technology has other advantages: almost maintenance and fuel free operation, and independence of efficiency on system capacity. These advantages suggest a variety of applications; one of the applications is a PV system for rural areas isolated far from utility grid, which is called the "Solar Home System (SHS)". In this area, candles, oil lanterns, batteries and small generators are currently used for lighting, radio and TV at night. The SHS consists of small capacity of PV modules (50-200W) and standard car batteries. Electric power generated by the PV modules in the daytime can be stored into the batteries and supplied to the household appliances at night.

In this paper, we evaluated the SHS from a life-cycle viewpoint by comparing with the small generator.

---

\* Department of Chemical System Engineering, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan.

\*\* Department of Fine Materials Engineering, Shinsyu University, 3-5-1, Tokida, Ueda, Nagano 386-8567, Japan.

(Received, October 25, 1998; Accepted, March 13, 1999)

## 2. Assumptions

### 1) Installation area

We assumed the SHS was installed in Indonesia. Indonesia is one of island countries and has a lot of areas isolated from utility grid. Actually the Indonesian government is recently promoting to install a great deal of the SHS to these areas.

### 2) System configuration

For the life cycle evaluation of the SHS, we needed to compare it with other alternative electricity sources, presuming the same amount of electric power was supplied to household appliances. In this study, it was assumed that the SHS would substitute for a small engine system that is often used in the area isolated from utility grid. As the power output of the engine generator available in the present market are not as small as the SHS for an individual house (50-200W), we supposed the daily electricity demand that a 350VA-output engine generator could supply for four hours, or 1.4kWh/day.

#### (1) Small Engine System

Table 1 shows assumptions for the small engine system. It was assumed that annual energy output of the small engine system was 511kWh/year (thermal efficiency=5%), and its lifetime was one year although the annual operation hours (=1,460hours) were more than the lifetime of the engine generator (about 1,000hours). The cost of the engine generator supposed  $4 \times 10^4$  Yen/unit, considering its market price in Asian developing countries. In addition, 3% of the initial cost was regarded as

the annual expenses for operation and maintenance. Annual fuel consumption was approximately 721l to generate the annual electric power and 460kg-C of CO<sub>2</sub> was released into atmosphere annually. Energy requirement to produce the engine generator was neglected.

#### (2) Solar Home System

As previously described, the SHS consists of small capacity of PV modules and batteries. Table 2 gives assumptions for the SHS and the associated LCA data.

##### 1. PV module

In this study polycrystalline silicon (poly-Si) PV modules were used. We have already carried out LCA study on the production of the poly-Si PV modules (KOMIYAMA *et al.*, 1995).

Figure 1 shows the process flow of the poly-Si PV module production that we evaluated. In our LCA study on the production of the poly-Si PV module, two kinds of new production technologies were assumed. One was the "Direct Reduction Process" that could produce Solar-grade silicon (SOG-Si) directly from raw silica. The other was the "Electro-magnetic casting process" that was able to produce high-quality poly-Si ingots for solar cell. We estimated energy requirement, CO<sub>2</sub> emissions and cost for the poly-Si PV module production for different production scales (10MW/year and 1GW/year) and different production technologies. The latest production technologies and cell efficiency were supposed when the annual production scale was 10MW/year, which is nearly the same as the commercial production scale at present. On the other hand, the progress in production technologies and improvement of cell efficiency were assumed when the annual production scale was 1GW/year. The

Table 1. Assumptions for small engine system.

Power output	350VA
Dimensions (L×W×H)	0.3m×0.2m×0.3m
Dry weight	9kg
Lifetime	1 year
Cost (market price)	$4 \times 10^4$ Yen/unit
Annual O&M rate	3.0%/yr.
Annual energy output	511kWh./yr. (=1.4kWh/day)
Annual fuel consumption	721l-gasoline/year (=25.4GJ/year)
Annual CO <sub>2</sub> emissions due to fuel consumption	460kg-C/year
Fuel cost	30 Yen/t-gasoline



Table 2. Assumptions for Solar Home System.

Annual production scale		10MW/yr.	1GW/yr.
<b>PV module</b>			
efficiency	%	11.8%	14.2%
dimension (W×L)	m	0.45 × 1	0.65 × 1.3
weight	kg/module	6	10
capacity	W/module	51.9	118
lifetime	year	20	20
energy requirement for production	GJ/module	1.39	1.14
CO <sub>2</sub> emissions due to production	kg-C/module	20.8	17.9
production cost (market price)	Yen/module	29.8 × 10 <sup>3</sup>	22.8 × 10 <sup>3</sup>
<b>Battery</b>			
capacity (at 12V)	Ah/unit	50	
lifetime	year	4	
energy requirement for production	GJ/unit	0.72	
CO <sub>2</sub> emissions due to production	kg-C/unit	13.8	
cost (market price)	Yen/unit	7.2 × 10 <sup>3</sup>	
<b>Solar Home System</b>			
annual irradiation	kWh/m <sup>2</sup> /yr.	2,050	
performance ratio	—	0.6	
numbers of PV modules	modules	8	4
total capacity of PV modules	W	415	482
numbers of batteries	units	7	
total capacity of batteries	kWh	4.2	
annual O&M rate	%/yr.	1	
annual energy output	kWh/yr.	511	582

lifetime of the PV modules supposed twenty years.

Considering the average irradiation in Indonesia is 2,055kWh/m<sup>2</sup>/year (JAPAN WEATHER ASSOCIATION, 1992) and assuming the performance ratio was 0.6, eight PV modules (=415W) were required to generate annual energy output not less than the small engine generator when the annual production scale was 10MW/year. In the case of 1GW/year four PV modules (=482W) were required. The exact energy output could be calculated to be 511kWh/yr and 582kWh/yr, respectively.

## 2. Battery

A standard lead-acid battery was used, for which technological and LCA data are also shown in Table 2. Energy requirement for manufacturing the battery was based on a literature (ALSEMA *et al.*, 1998), and we estimated the life cycle CO<sub>2</sub> emissions by supposing the energy requirement was entirely derived from oil. Assumed cost is a target of lead-acid battery for the residential PV system that is now being developed under a Japanese R&D program on energy technologies. This cost is in the range of present market price of standard

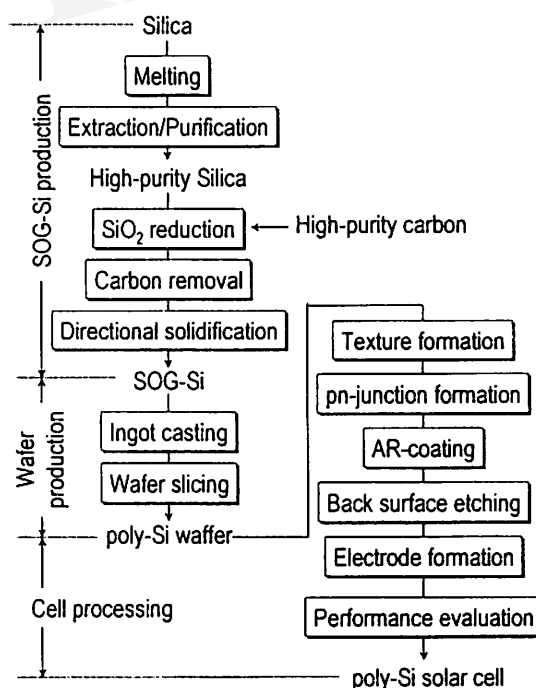


Fig. 1. An evaluated process flow of the poly-Si solar cell production.

car batteries in Japan.

We assumed that a Solar Home System needed seven batteries to secure three-day demand, or 4.2kWh, and the battery has four-year lifetime. Since the lifetime of the batteries was much shorter than the PV modules, they were regarded as the running component. Furthermore 1% of the initial cost of the SHS was regarded as the annual expenses for operation and maintenance.

## 2. Life-cycle Assessment and Indicators

“Life Cycle Assessment (LCA)” is a comprehensive method to evaluate environmental impacts of products by analyzing detailed material and energy flow associated with their life cycle. Other than an environmental issue, economic and energetic issues are also important for the realization of PV system.

Therefore we used three kinds of payback time as evaluation indicators, namely, “Energy Payback Time”, “CO<sub>2</sub> emission Payback Time” and “Cost Payback Time”.

### 1) Energy payback time

“Energy Payback Time (EPT)”, which means the period to recover energy requirement for producing the PV system by energy avoided by its own electric power output, is an indicator for evaluating energy-effectiveness of the PV system. The lower EPT means the higher energy-effectiveness and its EPT should be lower than its lifetime. Generally the EPT can be defined by following equation:

$$EPT = \frac{E_{in}}{E_{AV} - E_{om}} \quad (1)$$

where EPT [year] is energy payback time,  $E_{in}$  [MJ] is energy requirement for initial installation of the PV system,  $E_{AV}$  [MJ/year] is annual energy avoided by utilizing the PV system, and  $E_{om}$  [MJ/year] is annual energy requirement for operation and maintenance of the PV system.

If this definition is applied to the SHS,  $E_{in}$  is the energy requirement for the PV module production.  $E_{AV}$  is annual energy avoided by using the SHS in substitution for the small generator, that is, annual fuel consumption. And  $E_{om}$  is energy requirement for the battery production equivalent to annual operation.

### 2) CO<sub>2</sub> emission payback time

“CO<sub>2</sub> emission payback time (CO<sub>2</sub>PT)” can be obtained in the same manner as the EPT. The CO<sub>2</sub>PT represents the years taken to recover CO<sub>2</sub> released through the life cycle of PV system by CO<sub>2</sub> emissions avoided by its own energy output.

Eq.(2) shows the definition of the CO<sub>2</sub>/PT.

$$CO_2PT = \frac{CO_{2in}}{CO_{2AV} - CO_{2om}} \quad (2)$$

where CO<sub>2</sub>PT [year] is CO<sub>2</sub> emission payback time, CO<sub>2in</sub> [kg-C] is CO<sub>2</sub> emissions due to initial installation of the PV system, CO<sub>2AV</sub> [kg-C/year] is avoided annual CO<sub>2</sub> emissions by utilizing the PV system, and CO<sub>2om</sub> [kg-C/year] is annual CO<sub>2</sub> emissions by the operation and maintenance of the PV system.

If this definition is applied to the SHS, CO<sub>2in</sub> is the CO<sub>2</sub> emissions due to the PV module production. CO<sub>2AV</sub> is avoided annual CO<sub>2</sub> emissions by using the SHS in substitution for the small generator, that is, the annual CO<sub>2</sub> emissions due to fuel consumption. And CO<sub>2om</sub> is CO<sub>2</sub> emissions due to the battery production equivalent to annual operation.

### 3) Cost payback time

Economic issue is also a significant life-cycle aspect to discuss feasibility of the SHS and we evaluated this issue with an indicator, “Cost Payback Time (CPT)”. In this study, we defined the CPT as the years to recover the initial installation cost of the PV system, that is,

$$CPT = \frac{C_{in}}{C_{AV} - C_{om}} \quad (3)$$

where CPT [year] is cost payback time,  $C_{in}$  [Yen] is initial installation cost of the PV system,  $C_{AV}$  [Yen/year] is annual cost saved by utilizing the PV system, and  $C_{om}$  [Yen/year] is the annual expenses for operation and maintenance of the PV system.  $C_{AV}$  and  $C_{om}$  should be discounted back to the beginning of the life-cycle by using the interest.

If this definition is applied to the SHS,  $C_{in}$  is the PV module cost.  $C_{AV}$  is annual cost saved by using the SHS in substitution for the small generator, that is, the annual cost of the gasoline generator  $C_{av, g}$  [Yen/year], the annual fuel cost  $C_{av, fuel}$  [Yen/year], and the annual

expenses for operation and maintenance of the generator  $C_{av, OM}$  [Yen/year].  $C_{om}$  includes the annual cost of the batteries  $C_{OM, B}$  [Yen/year] and the annual expense for operation and maintenance of the SHS  $C_{OM, SHS}$ . Therefore eq.(2) can be converted to the following equation with respect to the SHS:

$$CPT = \frac{C_{in}}{(C_{ar, g} + C_{ar, fuel} + C_{ar, OM}) - (C_{OM, B} + C_{OM, SHS})} \quad (4)$$

In this study, the interest of 3%/year was assumed based on the "soft loan system" that is recently introduced for promotion of renewable energy in developing countries.

#### 4. Results and Discussion

Based on the assumptions and the definitions as described above, we estimated energy payback time, CO<sub>2</sub> emission payback time and cost payback time of the Solar Home System in substitution for the small generation system as shown in Table 3.

##### 1) Energy payback time and CO<sub>2</sub> emission payback time

Very short EPT and CO<sub>2</sub>PT were estimated as compared with the lifetime of the PV modules, that is, less than half a year even if the existing production technologies and cell efficiency were supposed at the production scale of 10MW/year. Furthermore they decreased to approxi-

mately three months when the progress in production technologies and improvement of cell efficiency would be realized at the production scale of 1GW/year.

This result was due to low efficiency of the small generator and suggested that the introduction of the SHS in isolated areas disconnected to utility grid had a high possibility to use energy more efficiently and reduce CO<sub>2</sub> emissions.

##### 2) Cost payback time

CPT was calculated at 5.6 year at the production scale of 10MW/year, which was also shorter than the lifetime of the PV modules. This means that the SHS is already economically feasible even with the PV modules that are produced by current production technologies at the present production scale. If the production technology is advanced and the annual production scale is expanded to 1GW/year in future, it will take only 2.7 years to recover the initial installation cost of the SHS.

#### 5. Conclusion

In this paper, we discussed energy-effectiveness, environmental impact and economics of the Solar Home System introduced in the isolated area far from utility grid. Three kinds of life-cycle payback times (EPT, CO<sub>2</sub>PT and CPT) were estimated based on the comparison with the small engine generator. The result suggested the SHS in the area was a very attractive energy sources for the life-cycle aspects even with the existing PV technologies and could be much better in the future. Therefore the installation of the SHS should be promoted much more.

#### Reference

- ALSEMA, E.A., FRANKI, P. and KATO, K. (1998): Energy pay-back time of photovoltaic energy systems: Present status and prospects. *Preprint of 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion, Vienna.*
- JAPAN WEATHER ASSOCIATION (1995): *World Irradiation Database (1992).*
- KOMIYAMA, H., YAMADA, K., INABA, A., IWASE, Y., KAKUMOTO, T., KATO, K., KAWAMURA, S., KOJIMA, T., SHIMATANI, T., SHIBUYA, H. and TABATA, S. (1995): *Evaluation of Photovoltaic Power Generation System II.* Report of the Society of Chemical Engineers.

Table 3. Evaluation results of Solar Home System.

Annual production scale		10MW/year	1GW/year
$E_{in}$	GJ	11.1	6.2
$E_{av}$	GJ/year		25.4
$E_{OM}$	GJ/year		1.26
EPT	year	0.46	0.26
CO <sub>2in</sub>	kg-C	166	97
CO <sub>2ar</sub>	kg-C/year		460
CO <sub>2OM</sub>	kg-C/year		24.2
CO <sub>2</sub> PT	year	0.38	0.22
$C_{in}$	10 <sup>3</sup> Yen	239	117
$C_{av, g}$	10 <sup>3</sup> Yen		38.3
$C_{av, fuel}$	10 <sup>3</sup> Yen		16.6
$C_{OM, B}$	10 <sup>3</sup> Yen		10.8
$C_{OM, SHS}$	10 <sup>3</sup> Yen	2.89	1.67
$C_{av, OM}$	10 <sup>3</sup> Yen		1.5
CPT	year	5.6	2.7

## 村落地域における独立型小容量太陽光発電システムと 小型エンジン発電システムのライフサイクル評価

加藤和彦\*・福長 博\*・山田興一\*\*

太陽光発電は保守が不要で、発電に燃料を必要としないクリーンな発電技術である。また、効率がシステム容量に依らないという特徴がある。このような特徴を生かした導入分野の一つに未電化地域での利用がある。これは「ソーラー・ホーム・システム (SHS: Solar Home System)」と呼ばれ、50～200Wの太陽電池モジュールと市販の車載用蓄電池からなる小型の独立分散型直流発電システムである。

本稿では、このソーラー・ホーム・システムをライフサイクルの観点から分析し、そのエネルギー採算性や環境影響、経済性を評価した。具体的には未電化地域で現在利用されている電源の一つである小型エンジン発電機との比較により、エネルギー・ペイバック・タイム、CO<sub>2</sub>・ペイバック・タイム、およびコスト・ペイバック・タイムという三つのライフサイクル評価指標を試算した。その結果、ソーラー・ホーム・システムは現状の太陽電池製造技術を用いた場合でも有効な発電技術であり、今後の太陽電池製造技術の進展によって、その有効性がさらに向上することが明らかになった。

---

\* 東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻  
\*\* 信州大学繊維学部精密素材工学科

(受付: 1998年10月25日, 受理: 1999年3月13日)

日本沙漠学会ニュース

OASIS 9(2) 1999  
[No.27 July 1999]

News and Communications of  
The Japanese Association for  
Arid Land Studies

# おあしす





## — 日本沙漠学会1999年度秋季シンポジウムの開催案内（予告） —

本年度の秋季シンポジウムを“月の沙漠”の唄で高名な千葉県御宿町にて開催を予定しています。実施の詳細が決定次第、再度、会員にご案内いたします。

期 日：1999年11月19日（金）

場 所：千葉県御宿町

テーマ：沙漠と考古学（仮題）

### 日本沙漠学会 季節フォーラム'99秋（第6回）



期 日：1999年10月15日（火） 15:00～17:00

講 演：藤井秀夫氏（国土舘大学）ほか

会 場：成蹊大学史料舘（成蹊大学正門を入って右手直ぐ近く）

照会先：日本沙漠学会事務局

筑波大学農林工学系 安部征雄、横田誠司 Tel: 0298-53-4647, 4898

#### ❖ 表紙写真 開発に死んだ「シャマンの木」❖

内モンゴル西部オルドス沙漠。ボー・イン・モドとよばれる巨木。ボーとはシャマン、モドは木で、「シャマンのまつる木」であった。木の下には生け簀にされていた動物の骨が残っている。1960年代に人民公社の開発で水路が造られ、一部は伐採の対象にもされた。やがて巨木はつぎつぎと死んでいき、草原には干ばつが続いた。将来、誰かがまたまつのようになれば、緑ももどると伝えられている。

楊 海英（静岡大学人文学部）



## 日本沙漠学会1999年度評議員会・総会記事

1999年5月21～23日、高知工科大学において、日本沙漠学会1999年度評議員会、総会、学術大会、公開シンポジウムおよびエキスカーションが盛況裏に開催・実施されました。

### 第12回評議員会

5月21日12:30～13:30、小堀会長、吉野副会長、評議員16名の出席の下に第12回評議員会が高知工科大学において開催されました。牛木久雄評議員を議長に選出し、総会提出議案について報告・審議され、議案全文が承認されました。1999年度総会

5月21日 13:30～14:30、高知工科大学教育研究棟において日本沙漠学会1999年度総会が開催されました。牛木久雄評議員を議長に選出し、以下の議題につき報告・審議され、それぞれ承認されました。

#### [議事]

1. 1998年度事業報告、会計報告及び会計監査報告
2. 1999年度事業計画案および予算案
3. その他

昨年度より学会本部事務局、編集事務局を移転し、新たな体制で学会業務が遂行されており、その1年目の総会となりました。1998年度の学術大会・総会は千葉大学において、また秋季シンポジウムは東京大学総合研究博物館において各機関会員の多大なご尽力を得て盛況裏に実施されたことが報告されました。決算については、会員各位のご協力により多くの会費納入を戴き健全な財政であった旨の報告が行われました。1999年度の事業計画の詳細については後掲の通りですが、とくに学会誌『沙漠研究』が年間4号刊行されることになりました。会員各位には原著論文などを積極的にご投稿下さるようお願い致します。

### 1. 1998年度事業報告、会計報告および監査報告

#### (1)1998年度事業報告

##### 1)会務報告

##### a.会員

1999年3月31日現在、会員数は以下の通り。

正 会 員:419名(入会23名, 退会23名)

学生会員:53名(入会12名, 退会 3名)

賛助会員:21社

##### b.会議

##### (a)日本沙漠学会1998年度総会

1998年5月15日、千葉大学自然科学大会議室において開催。総会の内容は「おあしす」No.23に掲載。

##### (b)評議員会(第11回)

1998年5月15日、千葉大学会議室において開催。議事録は「おあしす」No.23に掲載。

##### (c)理事会

本年度中に理事会は4回開催された。第40～42回の議事録は「おあしす」No.24に掲載、第43回は同 No.26に掲載。

##### (d)編集委員会

編集委員会は6回開催された。

##### 2)刊行物

##### a.日本沙漠学会誌「沙漠研究」

Vol.8, No.1(1998年8月), Vol.8, No.2(1998年12月)

##### b.ニューズレター「おあしす」

No.23(1998年6月), No.24(1998年10月), No.25(1999年1月)。臨時ニューズレター3回(1998年6月, 10月, 1999年3月)

##### c.日本沙漠学会講演要旨集(第9集, 第9回学術大会, 1998年5月)

##### 3)講演会及び研究会等の開催

##### a.第9回学術大会:

1998年5月15日(金)～16日(土)千葉大学において一般研究発表23題, ポスター発表7題, 公開シンポジウム「乾燥地の水」が行われ, 2日間の参加者は約150名。

##### b.第7回秋季シンポジウム:

11月20日(金)東京大学総合研究博物館にて開催, 4課題の講演が行われ, 45名が参加。

##### c.季節フォーラム:

'98夏(1998年7月6日), '98秋(1998年10月6日), '99冬(1998年2月3日)を開催した。

##### d.沙漠工学講演会:

第9回1998年8月6日(25名参加), 第10回1998年12月8日(54名参加), 第11回1999年3月12日(37名参加)。

##### e.乾燥地農学講演会(第7回):

1999年1月22日に開催(40名参加)。

##### f.沙漠誌研究会:諸般の都合で開催できなかった

##### 4)分科会の活動

##### a.沙漠工学分科会(1999年3月31日現在会員数191名)コーディネーター:安部征雄(筑波大学)

活動実績:分科会の講演会を8月, 12月及び3月の3回



開催した。12月は記念講演会とし、『沙漠物語』と『沙漠工学』の出版記念を兼ねた会とした。分科会メンバー中心とした『沙漠工学』(森北出版)は8月に出版された。幹事会は4回開催され、新体制での運営方法及び企画等についての議論が重ねられた。

b. 乾燥地農学分科会(1999年3月31日現在会員数236名)

コーディネーター: 松本 聡(東京大学)

活動実績: 「講演・国際交流等」「会報」「情報・出版」「研究開発」等のワーキンググループに分かれて調査, 研究, 実践活動を実施している。98年環境事業団より地球環境基金の助成を受け活動を開始, 99年1月22日の第7回講演会を「乾燥地における地域開発と資源利用」を開催(40名参加)。分科会機関誌「CADAL ニュース」を第32号から37号まで発行し, 沙漠に関する多方面の情報を会員に提供した。会

員以外にもひろく乾燥地農学分科会の活動を普及することを目的にインターネットのホームページを開いた。不定期ではあるがサロン・ド・ガダルを開催し, 会員の交流を深めている。

c. 沙漠誌分科会(1999年3月31日現在会員数: 92名)

コーディネーター: 櫻井清彦(昭和女子大学)

活動実績: 諸般の事情で約2年間ブランクとなったが新年度より再開する予定。

5) 内外の研究者・関係機関との交流および協力

a. 講演会「第9回沙漠の緑化に関する講演会」

草炭研究会と共催(1998年10月29日, 早稲田大学国際会議場)(約150名参加)。

b. 日本学会会議, 地理学研究連絡委員会における活動

c. 地球環境科学関連学会協議会(仮称)における活動

(2) 1998年度会計報告

日本沙漠学会1998年度決算  
(1998年4月1日～1999年3月31日)

一般会計					(単位: 円)
費 目	決算額	予算額	前年度決算額	摘 要	
収入の部	前年度繰越金	490,029	490,029	78,781	
	会費	3,715,000	3,320,000	3,408,000	正会員費, 学生会員費
	賛助会員費	1,800,000	2,050,000	2,700,000	賛助会員費(1口5万円×36口)
	雑収入	26,148	300,000	53,980	印刷物売上, 広告料等
	助成金	990,000	990,000	990,000	文部省「科学研究費補助金研究成果公開促進費」
				701,407	特別会計[学会積立金]より組入れ
合 計	7,021,177	7,150,029	7,932,168		
支出の部	印刷・出版費	3,020,100	2,940,000	2,690,665	「沙漠研究」、「おあしす」印刷代, 編集費
	活動交付金	1,384,998	1,455,000	1,864,750	学術大会・シンポジウム・分科会等活動費
	通信・運搬費	538,220	600,000	615,954	学会誌・ニューズレター発送費, その他郵送費
	会場費	0	100,000	0	(理事会・評議員会・講演会・月例談話会等)
	会議費	36,503	100,000	14,300	理事会・評議員会・編集委員会等
	事務局運営費	224,260	200,000	588,885	コピー, 電話・ファックス料金など
	交通費	66,120	150,000	27,900	遠距離理事, 事務局の交通費等
	人件費	554,000	500,000	1,525,000	事務局, 各種行事アルバイト等
	消耗品費	367,735	200,000	60,943	各種印刷物, ラベル用紙等
	諸雑費	205,620	50,000	53,742	振り込み手数料, その他
	(小計)	6,397,556	6,295,000	7,442,139	
	学会積立金	0	701,407	0	
	予備費	-	153,622	0	
	剰余金	623,621	-	490,029	
合 計	7,021,177	7,150,029	7,932,168		

2. 1999年度事業計画案および予算案

(1) 事業計画案

1) 会務

a. 会員

1999年4月1日現在, 会員数は以下の通り。

正 会 員: 419名

学生会員: 53名

賛助会員: 16社(30口)

b. 会議

(a) 日本沙漠学会1999年度総会: 1999年5月21日, 高知工科大学にて開催。

(b) 評議員会(第12回): 1999年5月21日, 高知工科大学にて開催。

(c) 理事会: 1999年4月6日(第44回), 他3回開催。

(d) 編集委員会: 適宜開催する。

(e) 総務財務委員会: 適宜開催する。

(f) 学会賞審査委員会: 適宜開催する。

2) 刊行物

a. 日本沙漠学会誌「沙漠研究」Vol.9, No.1(1999年4月), No.2(7月), No.3(10月), No.4(12月)

b. 日本沙漠学会講演要旨集(第10集, 第10回学術大会)

3) 講演会及び研究会等の開催



## a. 第10回学術大会:

1999年5月21日(金)～5月22日(土)高知工科大学

総会・評議員会

研究発表会

公開シンポジウム「乾燥地と国際協力」

## b. 第7回秋季シンポジウム:

1999年11月, 場所, テーマ: 未定

## c. 季節フォーラム:

'99春(1999年4月6日), '99夏(7月6日, 成蹊大学), 他

2回開催

## d. 沙漠工学講演会:

(第12回)1999年 6月に開催予定

(第13回)1999年 9月に開催予定

(第14回)1999年12月に開催予定

(第15回)2000年 3月に開催予定

## e. 乾燥地農学講演会: (第8回)2000年1月頃に開催予定.

## f. 沙漠誌研究会: 未定

## 4) 分科会の活動

## a. 沙漠工学分科会

1) 幹事会4回, 総会1回, 講演会4回を実施する.

2) 見学会, 研究会などの新規行事の検討を行う.

3) ネパールとの国際共同研究を実施する.

4) 第5回国際沙漠技術会議に向けての研究発表の準備をすすめる.

## b. 乾燥地農学分科会

1) 1999年11月見学会, 2000年1月に第8回講演会を予定.

2) 分科会機関誌「CADAL ニュース」を年6回, 第38号から43号まで発行.

3) インターネットホームページの情報更新等.

4) 受託研究等の継続案件の獲得をめざす.

5) サロン・ド・カダルを開催し, 会員相互の交流と乾燥地農学への理解を深める.

## c. 沙漠誌分科会

1) 研究会の開催を3, 4回実施予定(多方面より).

2) 研究成果の論文集 etc. 刊行: 分野別 etc. の具体化.

3) タク라마カン沙漠地域を第一の対象として考えてきたが, 他地域へも拡大して順次研究会を実施したい.

## 5) 内外の研究者・関係機関との交流および協力

a. 日本学術会議, 地理学研究連絡委員会における活動

b. 地球環境科学関連学会協議会(仮称)における活動

c. 6th International Conference on Development of Dry Land - Desert Development: Challenges Beyond The Year 2000(1999年8月22～27日, ICARDA, Cairo, Egypt)

d. Desert Technology V (1999年10月3日～8日, Reno, Nevada, USA)

e. その他内外の講演会等への参加をはじめ, 研究者・関係機関との交流および協力を積極的に深める.

## 6) その他

a. 2000・2001年度役員選挙の実施(1999年12月～2000年3月)

b. 必要な事業を随時開催予定

## (2) 1999年度予算案

日本沙漠学会1999年度予算  
(1999年4月1日～2000年3月31日)

## 一般会計

(単位: 円)

	費 目	予算額	前年度決算額	摘 要
収入の部	前年度繰越金	623, 621	490, 029	
	会費	3, 700, 000	3, 715, 000	正会員費, 学生会員費
	賛助会員費	1, 500, 000	1, 800, 000	賛助会員費(1口5万円×30口)
	雑収入	400, 000	26, 148	印刷物売上、広告料等
	助成金	840, 000	990, 000	文部省「科学研究費補助金: 研究成果公開促進費」
	合 計	7, 063, 621	7, 021, 177	
支出の部	印刷・出版費	3, 000, 000	3, 020, 100	「沙漠研究」(「おあしす」含む)印刷代、編集費
	活動交付金	1, 515, 000	1, 384, 998	学術大会(30万円)・シンポジウム(20万円)・分科会等活動費
	通信・運搬費	600, 000	538, 220	学会誌・ニューズレター送達費、ダイレクトメール、その他郵送費
	会場費	20, 000	0	理事会・評議員会・講演会・月例談話会等
	会議費	50, 000	36, 503	理事会・評議員会・編集委員会等
	事務局運営費	300, 000	224, 260	コピー(臨時ニューズレターなど)、電話・ファックス料金など
	交通費	150, 000	66, 120	遠距離理事、事務局の交通費等
	人件費	560, 000	554, 000	事務局、各種行事アルバイト等
	消耗品費	200, 000	367, 735	各種印刷物、ラベル用紙等
	諸雑費	50, 000	205, 620	振り込み手数料、その他
	(小計)	6, 445, 000	6, 397, 556	
	学会積立金	0	0	
	予備費	618, 621	-	
	剰余金	-	623, 621	
	合 計	7, 063, 621	7, 021, 177	



## 乾燥地農学分科会報告

### ◇見学会のおしらせ

#### CADAL 見学会のご案内

今回は風力発電をテーマとした見学会を企画しました。皆様のご参加をお待ちしています。

開催日：平成11年9月3日（金）

見学地：神奈川県三浦市宮川地区

三浦市ソフトエネルギーパーク

NEDO 風力開発フィールドテスト事業

集合地：京浜急行終点三崎口駅前

集合時間：三崎口駅前 13:30

現地施設説明：三浦市役所職員にお願いしてあります。

費用：品川～三崎口900円。現地交通費として2,000円前後

申込締切：8月16日迄 事務局宛（期間厳守）

Fax. 03-3589-3895にてお申し込みください。

〈参考〉品川～三崎口の所要時間は、特急で1時間11分、快速特急で1時間05分程度です。

### 第7回講演会概要

1月22日に東京大学農学部第8講義室を会場に当分科会主催による第7回講演会が開催された。今回の統一テーマは「乾燥地における地域開発と資源利用」とし、次の3名の講師から講演をして戴いた。

(1) 藤田賢二氏（環境庁地球環境部）：砂漠化対処条約の受託を受けて、(2) 都留信也氏（日本大学国際地域研究所）：中央アジアの土・水資源及び生物資源、(3) 辻博和氏（(株)大林組技術研究所）：クウェートにおける油汚染土のバイオレメディエーション。

以下に、講演の概要をご紹介します。

#### (1) 藤田氏のご講演

CADAL ニュース37号の巻頭言でも述べているように、日本は昨年12月10日に国連砂漠化対処条約を発効させたばかりであるので、ご講演は時宜を得たものであった。本条約の作成経緯と条約の概要を難解な法律用語の解釈を含めて平易に解説された。当初、本条約の日本語訳は「砂漠化防止条約」であったが、受諾に至る過程で、単に砂漠化を防止するばかりでなく、既に砂漠化している地域の再生も含めるようにするため、「砂漠化対処条約」に変更した（原文では、「combat」である）。締約国は98年10月末現在で143カ国であるが、主要国の中では米国、ロシア、豪州等が未締結である。

本条約は特にアフリカ地域の砂漠化に対処するための国家行動計画の作成／実施およびそのような取り組みに対する先進締約国や国際機関等の支援について規定している。しかし地域ごとに行動計画の作成／実施は可能である。そこで、アジア地域に関する活動状況を説明された。特に97年5月開催の「アジアの地域行動計画に関する大臣会合」で検討された TPN（テーマ別プログラムネットワーク）と地域行動計画実施のための組織について、詳しく説明された。

最後に環境庁の取り組みの現状を紹介された。主な取り組みは、TPN の検討のためのワークショップの開催、専門家による対策の検討、ブルキナファソにおける砂漠化防止対策モデル事業（地下ダムによる地下水の有効利用）、砂漠化に関する調査研究の推進、および砂漠化対処のための簡易技術の開発調査（NGO への技術支援）等である。

#### (2) 都留氏のご講演

中央アジアに関する情報は、日本からのアクセスが不便であることや長い間社会主義国家であったため、極めて少ない。しかし、地下資源が豊富に埋蔵されているため、日本でも近年注目されるようになった。

まず中央アジアの土・水資源の概要を説明され、ついで農業と環境問題について解説された。アムダリア・シルダリア流域では、国策として1960年代に大規模な灌漑農業が行われた結果、80年前後にアラル海の面積の減少が問題化した。さらに91年末に旧ソ連邦が崩壊し5つの独立国家が誕生した結果、両河川は国際河川となった。そのため水利用の分配は国際的な問題となり、アラル海の水位低下に拍車が掛かり、当該流域の乾燥地化が進み、下流域では土壌の塩類化が発生した。漁業も操業できなくなった。

講師は1964年以降、当該地の農業と環境問題を扱ってきた極めて数少ない研究者の一人であり、今回のご講演を契機に当該地に関心を抱く若い研究者の誕生を期待したい。

#### (3) 辻氏のご講演

湾岸戦争で流出した原油で汚染されたクウェートの油田地帯の土壌を土壌微生物で分解／修復する実証試験工事の経過を豊富なスライドで紹介された。地雷の埋設調査の後、供試土を油分濃度（TPH）で区分し、TPH が約4%以下の土をバイオレメディエーションの対象とし



た。①畑耕運方式、②高畝切返し方式および③高畝強制通気方式の3方式で試験を行った。15カ月後のTPHは①で約85%、②および③で約75%が分解された。処理15カ月後の土を用いて食用・飼料作物の生育試験を行い、バイオレメディエーションによる手法は発芽および生育に影響のないことを確認した。

さらにバイオレメディエーション処理土で約3,000m<sup>2</sup>の庭園を造成して、20種以上の砂漠植物を植栽し、その生育をモニタリングしている。現状をスライドで紹介されたが、草花が皆無であった砂漠地に花が咲き乱れる公園となっているのを見て、感動を覚えた。

土壌微生物の油成分に対する嗜好は様々であると予想されるので、本試験で選択した土壌微生物を世界各地の油汚染土に適用できるとは限らないと思われる。しかし、少なくとも本試験で確立した研究開発の手法の応用は可能であり、この点で高く評価できよう。

さて、上述のように今回のご講演はいずれも非常に中身の濃いものであったにもかかわらず、有料参加者は40

名に過ぎなかった。開催時期は他の学会等を考慮して最も端境期に設定したつもりである。当分科会の幹事会はこの原因を真摯に反省し、本会報によるPRだけでは不十分と考え、次回からは当分科会のインターネット、一般紙あるいは各種NGOを活用してPRしたく考えている。その他に良いアイディアがあれば、お教え願いたく思う。また興味のある統一テーマについても事務局へご連絡して戴きたく願います。なおご講演の後、講師を囲んで懇親会が盛況に行われたことを付記する。

(文責:中田礼嘉)

#### ◆農学分科会ホームページ開設のお知らせ

この度、農学分科会では下記のURLでホームページを開設しました。

<http://www.soc.nacsis.ac.jp/cadal/CADAL.htm>

今後とも、会員のみなさまのお役に立てるホームページを目指して改良を重ねていきますので、よろしくお願いします。  
(担当:情報出版 WG 福田)

## 新刊紹介

新藤静夫・石山 隆編『新疆ウイグルに関する研究者データファイル』 新疆ウイグル談話会(発行)、A4版、63ページ、1999年5月、1,500円

[CD-ROM、冊子とも書店には置いておりません。ご希望の方は下記連絡先までお申し込み下さい。]

ここ20年近く、学術調査のみならず新聞、TVなどのマスコミに中国新疆ウイグル地域、いわゆるシルクロードに関することが多数報じられ、その関心の高さがわかる。特に1990年からは科学技術庁のプロジェクト研究として「砂漠化機構の解明」が始まり、新疆ウイグルへの研究者の数が急激に増加した。著者もそれに参加して5回、タクラマカン砂漠周辺を調査した。現地では外国隊にも会い、また邦人の研究者にも会ったが、相手がどのような研究目的で、どこを調査しているのか、より詳しい情報を知りたくなったことも事実である。一方、調査を計画している研究者からの問い合わせがあり、特に早稲田大学探検部のタクラマカン砂漠横断プロジェクトでは、その計画段階で砂漠周辺の情報を求められた。しかし、広大な新疆ウイグルを私のたった数回の訪問では十分な返答ができない場合が多く、あらためて新疆ウイグル地域の研究者

の名簿作成の必要を感じた。今春、研究者データベースの構築を実行に移し、取りあえず著者が把握している研究者とその知り合いにデータの提供をお願いした。データは思いの外寄せられ、200件のデータが集まった。それは多くの分野の研究者からのもので、研究論文だけでは窺い知れない調査の側面がわかり、興味深いものがある。

データのそれぞれの内容はきわめて簡単で、項目は氏名、所属機関、所在地、連絡先、E-Mail Address、調査年月日、調査ルート、調査目的、相手先機関、相手先研究者名、調査同行者名である。巻末には一部ではあるが中国科学院生態地理研究所の研究者リストを紹介した。

この冊子が、新疆ウイグル周辺に関する研究者と調査を計画している方の参考になれば幸いである。

なお、改訂版の出版の際には、新たなデータの加筆と訂正を行う予定である。

(千葉大学 石山 隆)

連絡先:〒263-8522千葉市稲毛区弥生町1-33

千葉大学環境リモートセンシング研究センター内

Tel&Fax: 043-290-3851

E-Mail: ishiyama@rsirc.cr.chiba-u.ac.jp)



## 学 会 記 事

### 第43回理事会

場 所:成蹊大学史料館2F 中会議室

出席者:小堀 巖, 吉野正敏, 安部征雄, 川床睦夫,  
小島紀徳

議 事:

[審議事項]

#### 1. 1999年度秋季シンポジウムについて

1999年11月19日(金), 千葉県御宿にて開催予定とした。川床理事が担当し, 会長と相談のうえ実施要領決定することとした。

#### 2. 季節フォーラム'99秋について

10月15日, 成蹊大学にて, 藤井秀夫氏(国士舘大学)らを講師として開催することとした。

#### 3. 2000年学術大会について

2000年5月20~21日, 東京農業大学(高橋 悟教授 実行委員長)において開催することとした。

#### 4. 選挙管理委員会の指名

次期役員選挙に関わる選挙管理委員会委員候補として袴田, 岡田, 清水, 山口, 横田会員を指名した。

#### 5. 次期運営体制

具体的な実施体制方針を10月理事会で決定すること, 会則の運用また改正を含めて検討することとした。必要な場合, 11月19日に臨時総会を開催し, 決定するものとした。

[報告事項]

#### 1. 会務(総務・財務関係)報告

#### 2. 編集委員会報告

#### 3. その他

学会誌への広告が5件申し込まれことが報告された。

### 日本沙漠学会1999年度学術大会記事

5月21, 22日の両日, 高知工科大学教育研究棟において, 22課題の研究発表および「乾燥地の水」に関するビデオ上映が, また, 21日午後, 「乾燥地と国際協力」とのテーマで公開シンポジウムが実施され, それぞれ活発な質疑応答が行われました。

1999年度日本沙漠学会学術大会の開催につきまして, 村上雅博大会実行委員長(高知工科大学教授), 江口卓副委員長(高知大学教授)はじめ各大学先生方, 学生各位の絶大なご協力を戴きました。ここに厚く御礼申し上げます。

### 季節フォーラム'99夏

35名の参加者を得て開催されました。

期日:1999年7月6日(火)15:00~18:00

場所:成蹊大学史料館

講演課題・講演者:

#### 1. 和辻哲郎における風土と沙漠の思想

嶋田義仁氏(静岡大学教授)

#### 2. 沙漠における遺跡

櫻井清彦氏(昭和女子大学教授)

## 営 業 内 容

- FD・MOでの入稿のデータ処理から印刷までのオンラインシステム  
(Windows・Macintoshなど)
- CD-ROM作成
- 電算写植組版処理システム
- カラーポスター、パンフレットの作成・印刷
- 学位論文のハードカバー、ソフトカバーの作成・印刷

学術刊行物印刷・学会事務（全国発送迄にかかる一切の業務）  
に関しましてお引き受け致します。  
お気軽に御連絡下さい。

**最先端を行く設備と技術で、  
時代のニーズに応えます……………。**

## 佐藤印刷株式会社

### ■つくば営業所

〒305-0051

つくば市二の宮4丁目4-21

TEL : 0298-55-7622

FAX : 0298-55-7490

E-mail : ui9t-stu@asahi-net.or.jp

### ■本 社

〒310-0043

水戸市松ヶ丘2丁目3-23

TEL : 029-251-1212

FAX : 029-251-1047

E-mail : qu8t-stu@asahi-net.or.jp

## HERMIT 3000は

8チャンネルの入力系を同時にモニターできるデータロガー  
4-20mA出力のプロープならどんなものでも接続可能。本体  
は液晶画面とキーパッドを装備、パソコンのない屋外でも  
データロガーのプログラムができます。揚水試験、水位、  
水質の長期無人モニタリングから簡易水道施設の管理など  
幅広く活躍します。

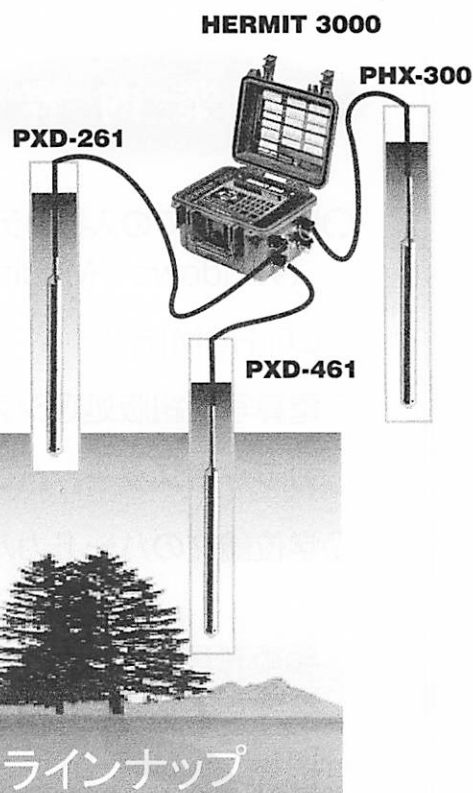
**PXD-261、PXD-461**は高性能水位計。

揚水試験や長期無人モニタリングに最適。

**PHX-300**は4-20mA出力のpH計。

温度とpHが別出力できるユニークなタイプです。

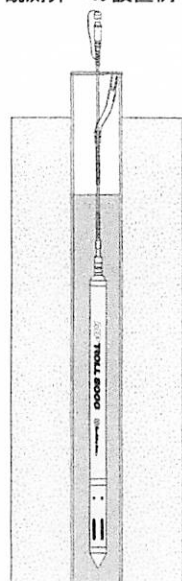
**HERMIT 3000**を利用した各種システム開発を行っています。  
詳細はアサヒ地水探査(株)へお問い合わせください。



揚水試験から長期無人モニタリングまで  
地下水のモニタリングに強力なラインナップ

## MP TROLL8000

観測井への設置例



## TROLL4000



**MP TROLL8000**はデータロガー、電池内蔵多項目水質計

測定項目は5成分：水位と温度+pH、電導度、D<sub>O</sub>、または  
水位と温度+pH、D<sub>O</sub>、ORPから選択できます。外径は4.5cm  
でVP50の井戸にもフィット、本体を観測井に吊すだけの手  
間いらず。地下水、河川などの無人水位・水質モニタリン  
グに最適です。

**TROLL4000**はデータロガー、電池内蔵水位、温度計

外径3.8cm、VP50の井戸にもフィットし、本体を観測井に吊  
すだけの簡単設置。揚水試験や河川、貯水池、帯水層の長  
期無人モニタリングに最適です。

**WL-20・WL-50**は水位表示器

水位計を観測井に設置すればすぐに表示計から水位を確認  
できます。データ確認のためパソコンをつなぐ必要はあり  
ません。

- 全データロガーにWindows®対応制御ソフトが標準添付
- テレメトリーシステムによる装置の遠隔操作にも対応。
- すべてのプローブはケーブルが着脱式、現場に合わせてケ  
ーブルが付け替えられます。

お問い合わせ

In-Situ社日本代理店



アサヒ地水探査(株)

〒151-0051

東京都渋谷区千駄ヶ谷3-27-4

TEL: 03-3478-7216 FAX: 03-3478-1015

Internet: <http://plaza10.mbn.or.jp/~ags/>

## 編集後記

夏の訪れとともに、「沙漠研究」9巻（9巻より季刊）2号を沙漠学会からお届けします。

小島が「沙漠研究」の編集委員長を仰せつかってからはや2年目となりました。当初は遅れ気味だった発行もようやく4/7/10/12月のペースをキープできそうなめどがたってきました。これも会員諸氏、編集委員各位、書記黒瀬さん、佐藤印刷さんのご協力のたまものと感謝しております。特に、多くの会員から積極的に投稿を頂いたおかげです。しかし、物事はいつも良いことばかりではありません。今度はむしろ、掲載決定論文が掲載されるまでの待ち時間の問題を心配し始めています。もちろん季刊になりましたので、年2回のときに比べれば短くはなっているとは思いますが、予算の制限もあり、無制限に掲載することもできません。投稿論文についてはできるだけ早く掲載をしようと努力していますが、その分、特集として執筆をお願いした総説にしわ寄せが来ております。ご執筆を頂いた先生方には、乞うご容赦。本号に予定していた耐塩性・耐乾性植物の特集は、次号となります。乞うご期待。

（編集委員長 小島紀徳）

## 編集委員

小島紀徳（委員長：成蹊大学） 嶋田義仁（副委員長：静岡大学） 安部征雄（筑波大学） 池谷和信（国立民族学博物館） 石山 隆（千葉大学） 梅村 坦（中央大学） 大槻恭一（鳥取大学） 岡田昭彦（科学技術振興事業団） 小口 高（東京大学） 尾崎益雄（前橋工科大学） 相馬秀廣（奈良女子大学） 高橋 悟（東京農業大学） 千代延恵正（東京大学） 杜 明遠（農業環境技術研究所） 長島秀樹（東京水産大学） 深井善雄（アース&ヒューマンCo.） 真木太一（愛媛大学） 松本 聡（東京大学） 森 忠保（ウイジン） 山口智治（筑波大学） SINHA, Sangeeta（成蹊大学） 書記：黒瀬匡子

日本沙漠学会編集委員会／〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町3-3-1

成蹊大学工学部工業化学科 小島紀徳 気付

Tel: 0422-37-3750, Fax: 0422-37-3871, e-mail: kojima@chgw.ch.seikei.ac.jp

「おあしす」担当／〒422-8529 静岡県静岡市大谷836

静岡大学人文学部文化人類学研究室 嶋田義仁

Tel/Fax: 054-238-4499, e-mail: jsysima@hss.shizuoka.ac.jp

## Editorial Board

Toshinori KOJIMA (Chief Editor), Yoshihito SHIMADA, Yukuo ABE, Kazunobu IKETANI, Takashi ISHIYAMA, Hiroshi UMEMURA, Kyoichi OTSUKI, Akihiko OKADA, Takashi OGUCHI, Masuo OZAKI, Hidehiro SOHMA, Satoru TAKAHASHI, Yoshimasa CHIYONOBU, Myungyuan DU, Hideki NAGASHIMA, Yoshio FUKAI, Taichi MAKI, Satoshi MATSUMOTO, Tadayasu MORI, Tomoharu YAMAGUCHI, Sangeeta SINHA

Editorial Secretary: Kyoko KUROSE

Editorial Office of The Japanese Association for Arid Land Studies

c/o Department of Industrial Chemistry, Faculty of Engineering, Seikei University

3-3-1 Kichijoji-kitamachi, Musashino-shi, Tokyo 180-8633, Japan

Tel: 0422-37-3750, Fax: 0422-37-3871, e-mail: kojima@chgw.ch.seikei.ac.jp

本誌の刊行にあたっては文部省科学研究費補助金（研究成果公開促進費）の援助をうけた。

編 集：日本沙漠学会編集委員会／〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町3-3-1

成蹊大学工学部工業化学科 小島紀徳 気付

Tel: 0422-37-3750, Fax: 0422-37-3871, e-mail: kojima@chgw.ch.seikei.ac.jp

発 行：日 本 沙 漠 学 会／〒305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

筑波大学農林工学系乾燥地工学研究室 安部征雄 気付

Tel/Fax: 0298-53-4647, e-mail: abe@sakura.cc.tsukuba.ac.jp

©The Japanese Association for Arid Land Studies

定価 1,500円（本体1,492円）

発行日 1999年7月25日

印刷：佐藤印刷（株）



# JOURNAL OF ARID LAND STUDIES

## CONTENTS

**Foreward** Hisao WUSHIKI

### Review Article

- Masahiro HIRATA, Hitoshi SHINJO, Masayuki KITAGAWA, Jyoken ISHIDA, Takashi KOSAKI and Akira MIYAZAKI : Trends of Livestock Production by Private Farmers in Kazakhstan after Independence ..... 125-134

### Original Articles

- Rupari DATTA and Sanjay KUMAR : Water and Salt Stress Mediated Induction of  $\beta$ -amylase : Selection of Species for Arid and Semi-arid Areas Plantation ..... 135-142
- Koichi YAMADA, Toshinori KOJIMA, Yuko ABE, Aidrian WILLIAMS and John LAW : Carbon Sequestration in an Arid Environment Near Leonora, Western Australia ..... 143-151
- Muhtar QONG and Tamotsu IGARASHI : Environmental Changes Deduced from Satellite Data in Arid Regions — A Case Study in the Lower Reaches of the Hotan and Yarkant Rivers, China — ..... 153-167
- Tsuyoshi MATSUMOTO, Toshinori KOJIMA and Hiroaki WAKABAYASHI : Analysis and Experiment of Lateral Flow in Saturated Sand for Halophytes Plantation ..... 169-174
- Kazuhiko KATO, Hiroshi FUKUNAGA and Koichi YAMADA : Life-cycle Evaluation of Solar Home System and Small Engine in Rural Areas ..... 175-180

**OASIS** (News and Communications)