

沙 漠 研 究

JOURNAL OF ARID LAND STUDIES

目 次

口 絵

真木太一：中国シルクロードの砂漠と砂漠化

原 著 論 文

井伊博行・大塚義之・小川哲夫・安部征雄・山口智治：ペーパーロールを用いた土壌の塩類捕集方法に関する実験的研究 1-7

鬼頭昭雄・山崎孝治・時岡達志：客観解析データによる夏季の中国北西部の水蒸気フラックス 9-17

特集：地球環境研究の動向

門村 浩：特集：「地球環境研究の動向」に寄せて19

飯島 孝：地球サミットとその成果20-24

内嶋善兵衛：地球環境とエネルギー25-33

サンガ・ンゴイ・カザディ：人間と自然の共存への提言——原始的な生活をしている
アフリカの村人から学ぶ——35-49

公開特別講演会『地球サミット「国連環境開発会議」と地球環境研究の動向』の総合討
論記録51-54

小特集：第2回沙漠工学講演会

真木太一：砂漠化防止のための防風施設の役割55-61

桑野幸徳・田中俊哉：太陽電池とその砂漠への応用63-71

沙漠シリーズ(1)

堀 信 行：沙漠の空間構成——沙漠(砂漠)・Desert をめぐる用語とそのイメージ
.....73-81

日本沙漠学会役員
(1992~1993 年度)

会 長 小堀 巖

副会長 吉野正敏

理 事 庶務担当: 袴田共之, 遠藤 勲

編集担当: 門村 浩, 赤澤 威

経理担当: 千代延恵正

渉外担当: 遠藤 勲, 松本 聰

学会担当: 松本 聰, 小西正捷

企画担当: 片倉もところ, 遠藤 勲

監 事 牟田口義郎, 土屋 清

評議員 赤澤 威, 石 弘之, 板垣雄三, 市川正巳, 牛木久雄, 梅棹忠夫, 江上波夫, 遠藤 勲, 遠藤邦彦, 大森博雄, 小川克郎, 片倉もところ, 加藤泰丸, 勝俣 誠, 門村 浩, 川床睦夫, 久馬一剛, 向後元彦, 小島紀徳, 小西正捷, 小堀 巖, 櫻井清彦, 佐田登志夫, 田中二郎, 千代延恵正, 土屋 清, 都留信也, 遠山正瑛, 遠山枉雄, 長濱 直, 並河萬里, 沼田 眞, 袴田共之, 日野舜也, 増田彰正, 松本 聰, 牟田口義郎, 矢野友久, 吉野正敏, 吉村作治

The Japanese Association for Arid Land Studies

President Iwao KOBORI

Vice-President Masatoshi YOSHINO

Executive Committee Members

General Affairs Tomoyuki HAKAMATA, Isao ENDO

Editorials Hiroshi KADOMURA, Takeru AKAZAWA

Treasury Yoshimasa CHIYONOBU

Liaisons Isao ENDO, Satoshi MATSUMOTO

Meeting Affairs Satoshi MATSUMOTO, Masatoshi KONISHI

Plannings Motoko KATAKURA, Isao ENDO

Auditors Yoshiro MUTAGUCHI, Kiyoshi TSUCHIYA

Councilors Takeru AKAZAWA, Hiroyuki ISHI, Yuzo ITAGAKI, Masami ICHIKAWA, Hisao WUSHIKI, Namio EGAMI, Isao ENDO, Kunihiko ENDO, Hiroo OHMORI, Katsuro OGAWA, Motoko KATAKURA, Yasumaru KATO, Makoto KATSUMATA, Hiroshi KADOMURA, Mutsuo KAWATOKO, Kazutake KYUMA, Motohiko KOGO, Toshinori KOJIMA, Masatoshi KONISHI, Iwao KOBORI, Kiyohiko SAKURAI, Toshio SATA, Jiro TANAKA, Yoshimasa CHIYONOBU, Kiyoshi TSUCHIYA, Shinya TSURU, Seiei TOYAMA, Masao TOYAMA, Tadashi NAGAHAMA, Banri NAMIKAWA, Makoto NUMATA, Tomoyuki HAKAMATA, Shun-ya HINO, Akimasa MASUDA, Satoshi MATSUMOTO, Yoshiro MUTAGUCHI, Tomohisa YANO, Masatoshi YOSHINO, Sakuji YOSHIMURA

中国シルクロードの砂漠と砂漠化

Desert and Desertification around the Silk Road in China



写真1. シルクロードの分岐点である敦煌の鳴沙山の砂丘とラクダ*.

Photo 1. Mingsha sand dunes and camels at Dunhuang, the crossroads of the Silk Road.



写真2. トルファン盆地内の沙山の南西端に位置し、トルファン市の南東 60 km にあるルクシン砂丘 (未解放地).

Photo 2. Likqun sand dunes, 60 km southeast of Turpan City, located at the southwest end of Shanshan in the Turpan Basin.



写真3. トルファンの交河故城より見た乾燥地の灌漑農地。台地上の堅い粘土質風食地とは対照的である。

Photo 3. Irrigated agricultural land in an arid land, which is contrastive with the wind erosion area of solid clay on the upland, viewed from Jiaohe old castle.



写真4. トルファン盆地内にある海拔-155 mのアイディン湖が干上がってできた塩の原。

Photo 4. Salt plain of Aydingkol Lake stood on 155 m below the sea level in Turpan Basin.



写真5. タクラマカン砂漠南縁のニヤ河沿いで、砂漠化によって移動砂丘に埋まりかけた高さ20 m以上の胡楊樹。

Photo 5. Koyo (*Populus euphratica* Oliv.) tress of more than 20 m in height being buried by moving sand dunes near Niya River at the south end of Taklimakan Desert due to desertification.

中国トルファン(吐魯番)は古代シルクロード・天山南路の中継点、高昌国付近に栄えたオアシス都市である。トルファンへの観光客は必ずと言ってよいほど訪れるベゼクリク千仏洞、アスターナ古墳などがある。広大な盆地で日本的イメージと異なり、北に5,445 mの天山・博格ダ山、南にジュラタグ山を越えると「さまよえる湖」で有名なロプノールへと岩・岩礫(ゴビ)・砂・土砂漠が遙かに続く。盆地には近年の水過消費、砂漠化によって夏秋季は干上がる海拔-155 mのアイディン湖がある。札幌と同緯度であるのに夏は気温47.9℃・地表温84.7℃(筆者測定)、冬は-28.0℃、年降水量16.4 mm(タクスン3.9 mm)の灼熱、厳寒、極乾燥の地であるが、市内はカルジン(地下導水路)による天山からの雪解け水で潤い、防風林で囲まれた中をロバ・馬が行き来する。厳しい自然環境の中でも、少数民族のウイグル族(ここでは多民族)がゆったりと暮らしている。

一方、トルファン盆地より格段に大きく、日本の面積にも匹敵するタリム盆地(タクラマカン砂漠)南縁を走る西域南道(コンロン山脈北縁)では、玉で有名なホータン周辺、さらにニヤ遺跡のニヤ川、クリヤ川沿いでは今も農地や樹木が、そして道路が毎年のように砂で埋まり、また、わずかな降雨による砂漠の洪水で寸断されている。

* 真木太一『砂漠の中のシルクロード 悠久の自然と歴史』(新日本出版社)カバーより

(真木太一 Taichi MAKI)

ペーパーロールを用いた土壌の塩類捕集方法に関する実験的研究

井伊博行*・大塚義之*・小川哲夫*・安部征雄**・山口智治**

1. はじめに

著者らは前報の『土壌表層に集積する塩類の捕集法』(安部ほか, 1992)において, 土壌表面を新たに開発した塩類捕集シートで覆い, そのシートに塩類を捕集させる方法について検討した. その結果, 飽和状態から風乾状態に至る過程でシート中に土壌の塩類が効率良く捕集することが分かった. 前報では蒸発により表層に移動した土壌溶液を捕集材に集めたが, 本論文ではさらに新たに導入した捕集材によって表層に集まった土壌溶液と共に土壌深部の土壌溶液も強制的に捕集材に集める方法について検討した. すなわち, 本報で「ペーパーロール」と称する多孔質捕集材を土壌に挿入し, 地中部の土壌溶液を深部から吸上げ, ペーパーロール気中部で蒸発させ塩類を捕集させる方法について, 蒸発速度, 塩濃度および水分分布, 塩類捕集量, さらに塩の捕集機構について実験的に検討を行なった.

土壌表面からの水分蒸発によって土壌溶液中の塩類は地表のごく近い層に集積すると共に, 飽和状態からの蒸発では地表には毛管帯や乾燥帯が形成される. 乾燥帯では水分移動に伴う塩類の移動ができないため, 乾燥帯の存在する位置が塩類集積では重要である(佐藤, 1989). そこで, 乾燥過程での水分の保持状況の異なる3種類の土壌を供試して, ペーパーロール部での塩の捕集状況を調べた.

2. 実験方法

1) ペーパーロール

本報で導入した多孔質捕集材「ペーパーロール」は, キムワイブ1枚(十條キンバリー製, ワイパーS-200, 12.0×20.6 cm)を使って, 金属棒を芯にして巻き, ロール状に成形したもので, 直径が約1 cmである. 標準の長さは12 cmで, 気中部分の長さが6 cm, 地中部分の長さが6 cmであり, これよりも短いものはロール状にした後切断したものをを用いた. キムワイブは, 大小様々な間隙を有し, 吸水性に優れ, 溶液の伝達性が良いので, これを用いた.

2) 試料土

試料土としては組成が単純で透水性が大きい砂と, 土壌溶液の挙動条件を変えるために, 水分保持能力がすぐれた透水性の小さいベントナイトと砂を混合したものをを用いた. ここでは試料土を, フラタリー砂 100% (透水係数 1×10^{-5} cm/sec), フラタリー砂 98% + ベントナイト 2% (透水係数 2×10^{-7} cm/sec) とフラタリー砂 95% + ベントナイト 5% (透水係数 1×10^{-7} cm/sec) の3種類に設定した. 以下, これらの試料土をそれぞれ砂 A, 混合土 B, 混合土 C と呼ぶことにする. 混合土の配合は質量比である. 材料の粒径組成はフラタリー砂(オーストラリア産)は 50~600 μ m, ベントナイト(クニゲル V1, クニミネ工業株式会社)は 50 μ m 以下で, 2 μ m 以下が 50% 以上である. その鉱物組成はフラタリー砂が 99% 以上の石英であり, ベントナイトは 60% のモンモリロナイト, 30% の石英, 5% の長石である.

3) 供試体の調製

供試体の調製にあたり, 図1に示すように内径 5 cm, 高さ 10 cm のアクリル製のコラムに, 200 g の乾燥試料土と NaCl を含む水溶液 (Cl^- 濃度 270 μ g/g) を試料土壌面が溶液に覆われるように入れて十分に混合した. 次に試料土を試料ベラで形を整えながら締めかためて高さを整えた. 同じ種類の試料土では同じ高さになるように調節したが, 種類によって吸水膨張の程度に差があり, 高さが異なった. その結果, 砂 A で 6.2 cm, 混合土 B で 6.4 cm, 混合土 C で 6.8 cm であった. 土壌表面の余分の溶液は除いてから質量を測定し, 加えた溶液の質量を求めた. 飽和させるのに用いた溶液量は砂 A で 50 cm^3 (含水比 25%), 混合土 B で 48 cm^3 (含水比 24%), 混合土 C で 59 cm^3 (含水比 30%) であった. ついで, 先のペーパーロールを純水で飽和させた後, 試料土に試作の小型オーガーを用いて穴をあけて垂直に挿入した. なお, 飽和時のペーパーロールは挿入前に 4 cm^3 の純水を吸水した.

4) 塩類捕集実験

ペーパーロールを挿入しない時の試料土の粒度組成の違いによる蒸発過程における試料土の水分分布, 塩分濃

* 清水建設(株)技術研究所
** 筑波大学農林工学系

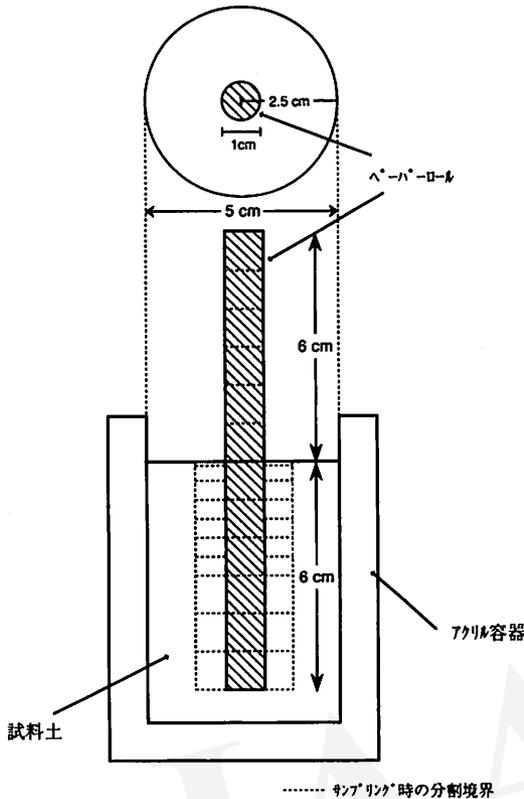


図1. ペーパーロールを挿入した時の供試体図.

度の測定を行なった。また、ペーパーロールを土壤中に挿入した時のこれによる塩の捕集効果を調べるために、蒸発過程における試料土の蒸発量の測定、試料土とペーパーロール中の水分分布・塩濃度分布の測定を行なった。

前述の供試体を 35℃ の恒温槽に入れて乾燥させた。供試体は乾燥期間中はその質量変化を計測することとし、数段階の乾燥状態の試料の情報を得るために複数個の供試体を用意し、所定の質量に達したら恒温槽から取り出し測定を行なった。なお、蒸発の程度を示すのに、飽和土壌溶液量に対する供試体の土壌表面からの水分蒸発量の百分率を水分蒸発率と定義し用いた。

水分量と塩素イオン (Cl⁻) 濃度を測定するために、試料土とペーパーロールを深さごとに分割してサンプリングした。試料土は蒸発する過程で、表面に塩を著しく含む厚さ 1~2 mm のクラストが形成されるため、特に表層部分は分割間隔を小さくした。また、ペーパーロールは 1~2 cm の長さで等分割した。サンプリングした試料土の含水比とペーパーロールの含水率 (水の質量/ペーパーロールと水の質量) を測定した。ペーパーロールでは、その乾燥質量が極めて小さいので、その水分量

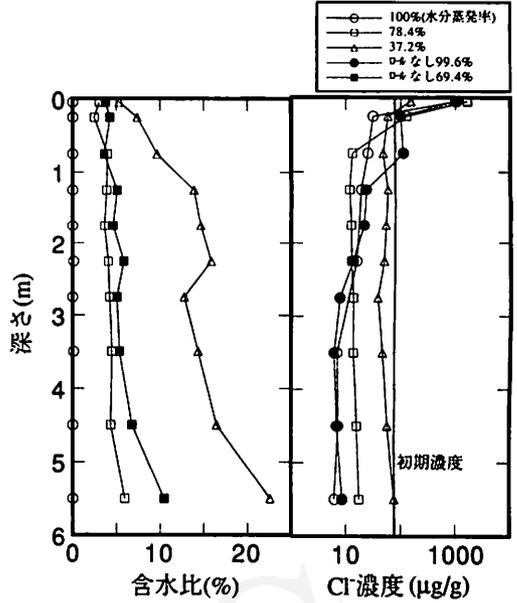


図2. 砂 A の含水比と Cl⁻ 濃度.

は湿量基準の含水率で表わした。次に、この乾燥試料に試料土の塩分濃度に対応した量の純水を加え、イオンクロマトグラフィ (IC500, 横河電機製) で Cl⁻ 濃度を測定した。土壌中の Cl⁻ 濃度は試料土の乾燥質量あたりの Cl⁻ の質量 (μg/g) で演算表示した。ペーパーロールに対しては、ペーパーロールの質量が小さいため単位重量あたりの濃度は誤差が大きくなりやすいので、単位長さあたりの Cl⁻ の質量 (μg/cm) とした。

3. 実験結果

1) 試料土の含水比変化

前述のように乾燥過程において試料土の表層状態の水分変化は重要である。図 2, 3, 4 にペーパーロールを挿入した時の各試料土の含水比の変化を示す。ペーパーロールを挿入した時の試料土の水分分布は、ペーパーロール周辺 1 cm 以内の部分である。ペーパーロールを挿入しない時の試料土の含水比の変化はペーパーロールを挿入した時とほぼ同じ傾向を示し、一部の結果のみを図に載せた。混合土 B, C では蒸発が進むにつれて表層部分の含水比が急速に低下し、絶乾状態の層が形成され、その層は乾燥が進むにつれて深部へと広がって、最終的には試料全体が絶乾状態になっている。しかし、砂 A では蒸発が進むにつれて試料全体の含水比が低下し、表層には試料全体が絶乾するまで絶乾状態の層は見られない。このように、ペーパーロールの挿入に関係なく試

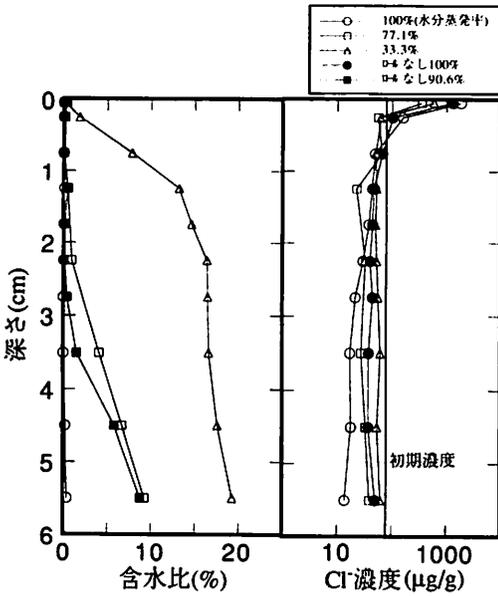


図3. 混合土Bの含水比とCl⁻濃度.

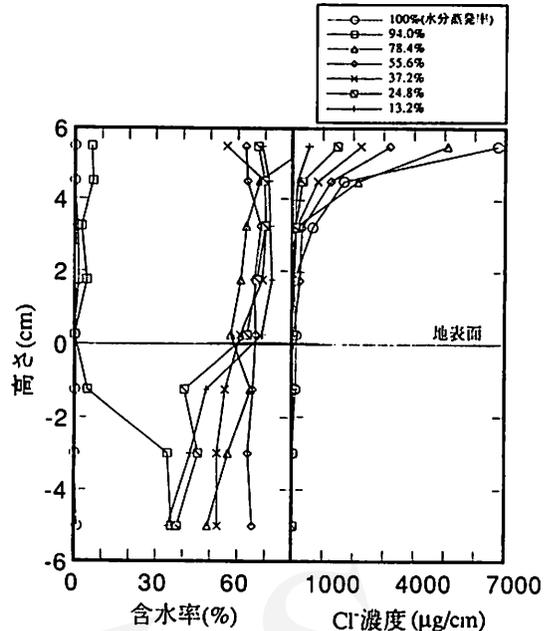


図5. 砂Aのペーパーロールの含水率とCl⁻濃度.

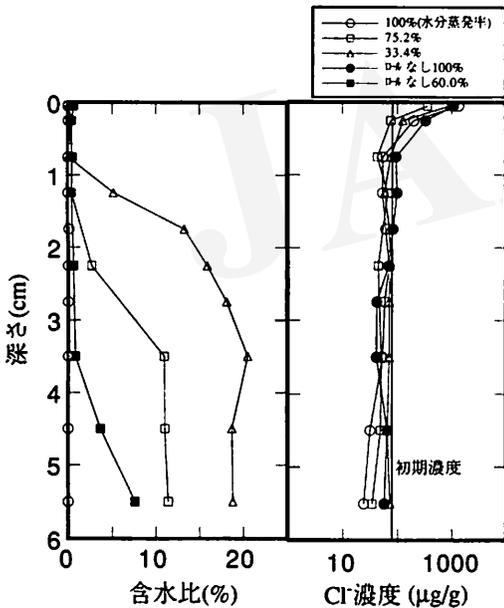


図4. 混合土Cの含水比とCl⁻濃度.

料土の蒸発面は砂Aでは常に地表面にあるが、混合土B,Cでは蒸発面はしだいに下がっている。この傾向は特に、ベントナイトの含有量の多い混合土Cで著しい。

2) 試料土中のCl⁻分布

図2,3,4に、ペーパーロールを挿入した時としない時の各試料土のCl⁻濃度分布の変化を示す。ペーパーロールを挿入した時の試料土のCl⁻濃度分布は、ペーパー

ロールの周辺1cm以内の部分である。

いずれの試料土でも、絶乾時、表層に厚さ1~2mmのNaClによって固結したクラストが形成され、地表面下0.5~1cmまでの部分が蒸発によりCl⁻濃度が初期状態よりも高くなり、それ以深の部分で濃度が減少している。

砂Aで、ペーパーロールを挿入した時としない時との絶乾状態でのCl⁻濃度を比較すると、クラスト部分では相違が見られないものの、表層から2cm以内の部分ではペーパーロールを挿入した方が試料土のCl⁻濃度が低下している。特に、深さ1cm付近でのCl⁻濃度低下は著しい。このようにペーパーロールを挿入することにより、表層付近のCl⁻濃度の低下が認められた。

混合土Bではペーパーロールを挿入した方が表層部分でCl⁻濃度が高いものの、その他の深度ではCl⁻濃度は低い。混合土Cではペーパーロールの挿入した方が深さ3cm付近でCl⁻濃度が高いものの、その他の深度ではCl⁻濃度は低い。

このように、ペーパーロールの挿入により濃度の低下する部分が、試料土の種類により異なる。

3) ペーパーロールの含水率

図5,6,7に、各試料土に挿入したペーパーロールの含水率の変化を示す。砂Aでは乾燥が進行した状態の水分蒸発率78.4%でも、ペーパーロールの気中部分の含水率は50%以上もある。しかし、混合土B,Cでは、乾

燥初期の水分蒸発率 33% 以下であっても、ペーパーロールの先端部分の含水率は 10% 以下になっている。

4) ペーパーロール中の Cl⁻ 分布

先の図 5, 6, 7 に各試料土に挿入したペーパーロール中の Cl⁻ 濃度分布の変化も併せて示した。

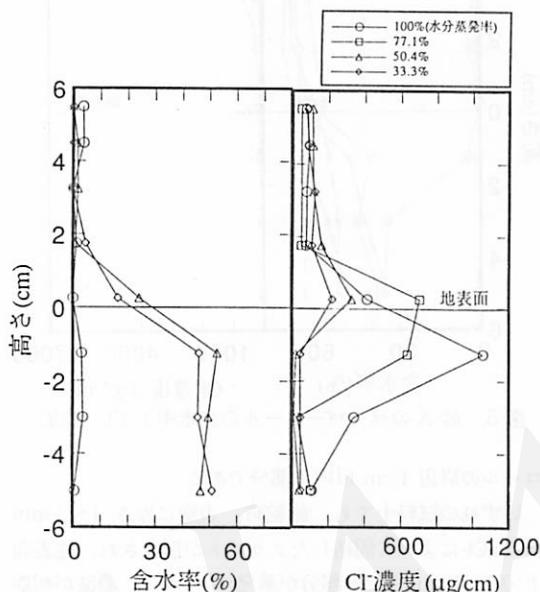


図 6. 混合土 B のペーパーロールの含水率と Cl⁻ 濃度.

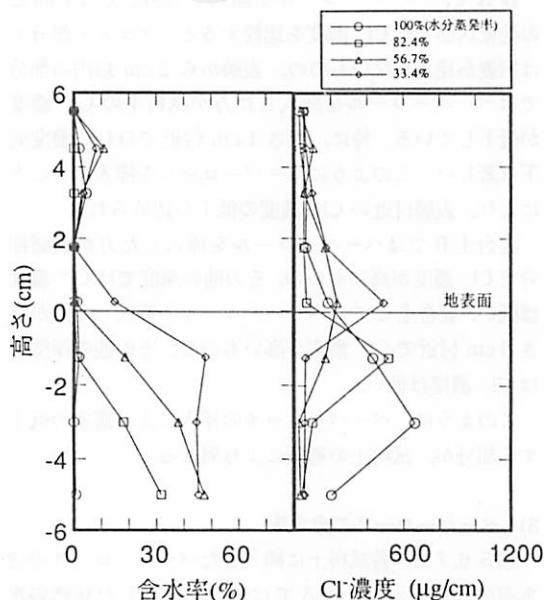


図 7. 混合土 B のペーパーロールの含水率と Cl⁻ 濃度.

砂 A では、Cl⁻ はペーパーロールの気中部分の先端部に著しく濃集し捕集されている。その濃度は蒸発が進行するにつれて増加している。水分蒸発率 13.2% の時はペーパーロールの先端から 1 cm までの単位長さあたりの Cl⁻ 量は 540 µg/cm であるが、水分蒸発率 100% の時は 6900 µg/cm にまで増加している。

他方、混合土 B, C では、ペーパーロールの Cl⁻ は地表から 1~3 cm 下の地中部分に著しく集積している。その最高濃度は蒸発が進行するにつれて増加し、最高濃度の位置は下方に移動している。たとえば、混合土 C では、水分蒸発率 33.4% までは最高濃度は地表面付近にあるが、水分蒸発率 82.4% で深さ 1 cm に、100% で 3 cm に最高濃度の位置が移動している。また、絶乾した時の最高濃度の深さは、試料土の濃度がペーパーロールを挿入しない場合に比べて高い部分と一致する。混合土 B では深さ 1 cm、混合土 C では深さ 3 cm 付近である。

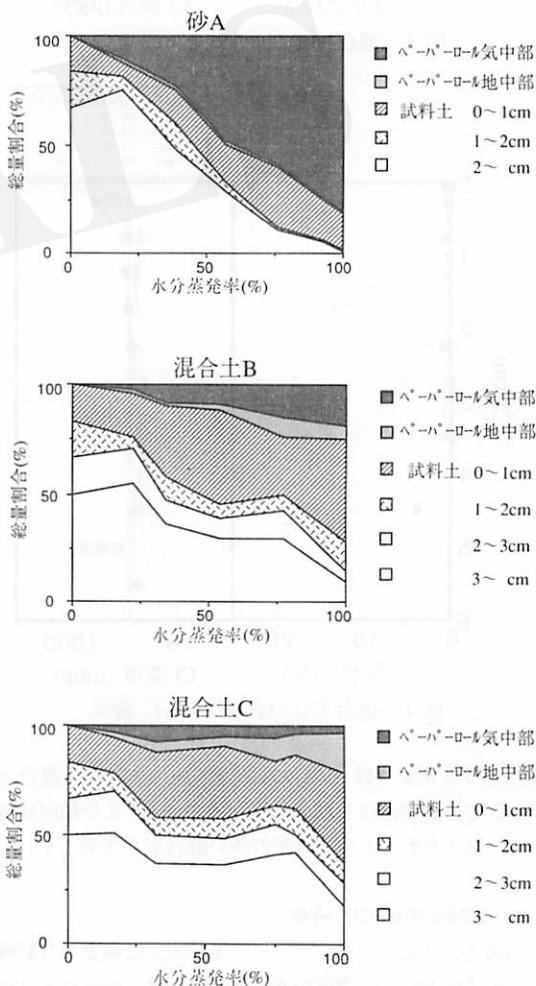


図 8. 水分蒸発率と各層の Cl⁻ 量の総量割合.

5) ベーパーロール中での Cl^- の捕集量

図 8 に、各試料土に挿入したベーパーロールに捕集された Cl^- の量の経時変化を示す。なお、図の縦軸の目盛りは、各層の試料に含まれる Cl^- 量の全供試体中の総 Cl^- 量に対する割合を、試料上部から順に積算した量として表わした。

砂 A では、試料土が絶乾するまでに容器全体に加えられた Cl^- 量の 74% (10000 μg) がベーパーロールに捕集され、特にベーパーロールの気中部分に著しく捕集された。とりわけ先端から 1 cm までの部分に捕集された Cl^- の量はベーパーロールに捕集された量の 70% になり、先端部以外の捕集量は少なかった。また、捕集された量は実験開始時に試料土に加えた溶液の Cl^- 濃度が 270 $\mu\text{g}/\text{g}$ であるから、計算上、ベーパーロールは 37 g の溶液に含まれる Cl^- を捕集したことになる。また、ベーパーロールは飽和時に 4 g の水を吸収しているので、吸水量の約 9 倍の水を周囲の土壌から吸い上げた計算になる。

混合土 B, C では、砂 A と比べて気中部分よりも地中部分に Cl^- が多く捕集された。混合土 B で試料土が絶乾するまでに容器全体に加えられた Cl^- 量の 25% (3300 μg)、混合土 C で 21% (2900 μg) がベーパーロールに捕集された。このように、砂 A の方が混合土 B, C に比べて、多量の Cl^- が捕集された。

6) ベーパーロールの長さとお集された Cl^- 量

砂 A ではベーパーロールの先端部分に著しく Cl^- が濃集したので、ベーパーロールの長さの効果をみるために、砂 A の試料土に挿入したベーパーロールの気中部分

と地中部分の長さを変えて、ほぼ絶乾状態 (水分蒸発率約 90%) まで蒸発させ、その時にベーパーロールに捕集された Cl^- 量を測定した。その結果を表 1 に示す。ベーパーロールの気中部分の長さを変えた場合は、その捕集量は長さにはほぼ比例している。しかし、地中部分の長さを変えた場合はその捕集量に変化は見られなかった。

7) 蒸発速度

表 1 に、蒸発開始からの蒸発速度が変化しない範囲である水分蒸発率が 60% までの蒸発速度 (g/day) を示す。蒸発速度はベーパーロール地中部の長さには影響されないが、ベーパーロール気中部の長さには影響を受ける。ベーパーロール挿入による蒸発速度の増加量は砂 A では大きく、混合土 B, C では小さく、また、長さの効果も含めて、その増加量が大きい程ベーパーロールに捕集される Cl^- 量は大きい。しかし、混合土 C についてはベーパーロール挿入による蒸発速度の増加量が 1.1 g/day と小さいものの、捕集された Cl^- 量は 2900 μg に達する。

4. 考 察

1) 捕集機構について

砂 A では試料土全体が絶乾するまでは、どの深さの砂も常に水分を保持しているため、毛管現象により砂層からベーパーロール先端部に Cl^- を含む溶液を供給することが可能であり、先端部分に Cl^- が集積したものと考えられる。一方、ベーパーロール地中部の長さを変え

表 1 ベーパーロールの長さとお集した Cl^- 量、蒸発速度との関係。

試料土	気中部長さ (cm)	地中部長さ (cm)	捕集した Cl^- 量 (μg)		蒸発速度 (g/day)	水分蒸発率 (%)
			気中部	地中部		
砂 A	6	6	8001.1	138.1	37.3	100
	6	4	7433.9	137.3	39.4	93
	6	2	8299.5	188.5	36.7	92
	4	6	6896.2	94.8	32.1	92
	2	6	2924.7	80.5	25.4	87
	1	6	2370.1	133.2	25.3	87
	0	0	0	0	21.7	100
混合土 B	6	6	809.1	2493.9	12.7	100
	0	0	0	0	8.0	100
混合土 C	6	6	446.1	2470.1	4.6	100
	0	0	0	0	3.5	100

蒸発速度は、水分蒸発率が 0~60% の範囲。

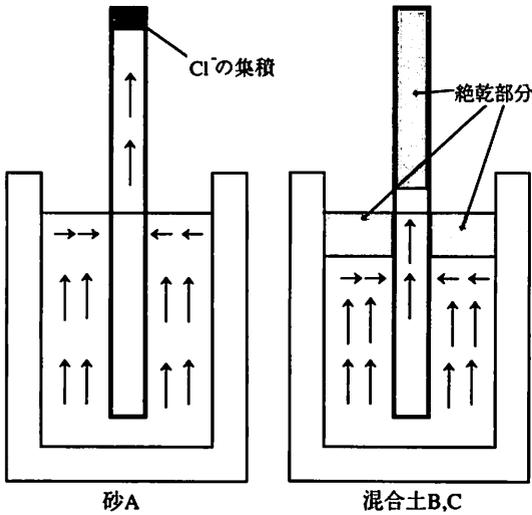


図9. 蒸発過程での Cl^- 溶液の動き.

ても蒸発率、全捕集量に変化がないことから、ペーパーロール地中部の存在は Cl^- 溶液を上方へ移動させることには寄与しなかったものと考えられる。以上のことから、砂 A での蒸発に伴う Cl^- 溶液の動きは、図9に模式的に示したように考えられる。土中の Cl^- 溶液はペーパーロールを経由せずに上方に移動し、土壌表面部分に集積した Cl^- 溶液はペーパーロールを伝わって最終的にペーパーロール先端部に捕集される。この Cl^- 溶液の動きは水分蒸発率が 100% 近くまで維持される。

一般に、細粒土の方が粗粒土よりも毛管上昇速度が小さく (Felitsiant, 1966)、混合土 B, C の表層に絶乾状態の層が形成された原因は砂 A より毛管上昇速度が小さいために、蒸発過程において表層部での蒸発量が毛管上昇によって表層部に供給される水量を上まわったためと考えられる。表層に形成された絶乾状態の層のために、下方から上昇する Cl^- 溶液は絶乾状態の層で蒸発し、ペーパーロール気中部に供給されず、 Cl^- 溶液はペーパーロールの上部に移動できなかったものと考えられる。このように、蒸発の進行と共に試料土とペーパーロールの気中部はしだいに上方から乾燥し、図9に示すようにペーパーロール先端部への Cl^- 溶液の移動は生じず、試料土の Cl^- 溶液は表層に達せずに、絶乾状態の層の最下底や水分のあるペーパーロール地中部に集積、捕集されたものと考えられる。

表1に示すように混合土 B, C のペーパーロールを挿入しない場合の蒸発速度は、砂 A に比べて $1/3$ ないし $1/6$ であり、混合土 B, C の試料土の水分保持力が大きい。そのため、試料土からペーパーロールへの溶液の移動は砂 A では大きい、混合土 B, C では小さい。混合

土 B, C に見られるペーパーロールが乾燥過程で絶乾した原因の一つは、試料土の水分保持力の違いによるペーパーロールへの水分供給の差が考えられる。

2) 塩類の捕集効果について

砂 A においては、ペーパーロールは吸水量の9倍の土壌溶液に含まれる Cl^- を集めることができた。それは供試体に加えられた全 Cl^- 量の 70% に達するもので、ペーパーロールは土壌表層の Cl^- 濃度低減に充分効果があった。また、その構造としては、気中部が長いものが効率的であり、地中部の長さには影響されない。前報のスティック型捕集材とは砂の材質、温度条件などが異なり直接比較できないが、気中部分のみをガーゼを巻いた棒を用いており、結果的には効率のよい構造になっていたものと考えられる。

混合土 B, C では捕集された Cl^- 量は砂 A に比べて少なく、ペーパーロールの効果は土壌の特性に影響を受けることが分かった。混合土 B, C のような表層に絶乾状態の層が形成される土壌では、 Cl^- が捕集される地中部の長さが長く、気中部の長さが短い形が効率的な構造であるとされる。

実際の土壌は砂だけから構成されるよりも粘土分を含んでいるので、効率を上げるためには土壌のタイプによってペーパーロールの構造を変える必要がある。

5. ま と め

本論文では、前報のスティック型のように所々に蒸発促進材を植える方法をさらに発展させたペーパーロールを土壌に挿入し、地中部の土壌水を深部から吸い上げ、ペーパーロール部で蒸発を促進させ塩類を捕集させる方法について検討した。

この方法の有効性については土壌の材質が重要な因子となった。乾燥途中で表層に絶乾状態の層が形成されない土壌では、効率よく塩類を捕集させ、土壌表層の Cl^- 濃度の低減に効果があった。このタイプの土壌ではペーパーロール気中部が長いものが効率的であり、地中部の長さは影響しない。他方、乾燥過程で表層に絶乾状態の層が形成される土壌では、ペーパーロールへの Cl^- 捕集量は少ないが、深部の Cl^- 濃度の低減を起こすことができた。このタイプの土壌ではペーパーロール気中部は短く、地中部が長いものが効率的であるとされる。

参考文献

安部征雄, 山口智治, 横田誠司, 大塚義之, 井伊博行 (1993): 土

壤表層に集積する塩類の捕集法. 「沙漠研究」2: 19-27.
 佐藤邦明 (1989): 土の乾燥について. 「地下水と井戸とポンプ」
 31-1.
 松本 聡 (1983): 「乾燥地農業開発と環境問題」環境情報科学,
 12-1.
 門村 浩・武内和彦・大森博雄・田村俊和 (1991): 「環境変動と

地球砂漠化」朝倉書店.
 FELITSYANT, I. N. (1966): Regularity of capillary movement of
 water and soil solutions in stratified soils. Translated from
 Russian, Israel Program for Scientific Translations, Jerusa-
 lem.

Experimental Study on Salt Capture Method Using a Paper Roll

Hiroyuki Iri*, Yoshiyuki OHTSUKA*, Tetsuo OGAWA*, Yukuo ABE** and Tomoharu YAMAGUCHI**

Salt accumulation in soil is a serious problem for agricultural areas in the arid and semi-arid lands. In this paper a method to remove ground salt from soil is discussed. Our method is to capture salt into a paper roll which is inserted into soil. The amount of Cl^- captured with the paper roll depends on the characteristics of the soil and the way the paper roll is inserted into the soil.

In the case when some water is held in the immediate subsurface of the soil until the soil is dried up, the most effective way to absorb Cl^- is to insert the paper roll only slightly into the soil, leaving the longest part of the roll above the ground. This method of paper roll insertion produces a heavy concentration of Cl^- in the paper roll and effectively decreases the Cl^- concentration on the surface of the soil.

When there is no water at the immediate subsurface before the soil is dried up, the most effective method of capturing Cl^- is to insert the paper roll almost completely in the ground leaving only a short length of the roll above the ground. The Cl^- captured with the paper roll is light but the method can decrease Cl^- at lower soil levels.

Key Words: Paper roll, Evaporation, Salt, Capillary, Sand, Bentonite, Accumulation

* Shimizu Corporation. 3-4-17 Etchujima, Koto-Ku, Tokyo, 135 Japan.

** University of Tsukuba. Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan.

客観解析データによる夏季の中国北西部の水蒸気フラックス

鬼頭昭雄*・山崎孝治*・時岡達志*

1. はじめに

タクラマカン砂漠を中心とした中国北西部の乾燥地域の気候については、これまでにいくつかの報告があり、最近では吉野 (1991, 1992) により地上気象観測データによる風と雨の気候学的な解析がなされている。また谷田貝・安成 (1992) は 1981 年と 1982 年の暖候期 (3-9 月) についてヨーロッパ中期予報センター (ECMWF) 客観解析データによる中国北部・北西部の水蒸気輸送を見積っている。

乾燥地域での雨を考えるには、降水量・蒸発量・地下水流量や大気中の水蒸気輸送量のすべてについて定量的に知る必要がある。本論文では水収支を総合的に捕える一環として、最新の数値予報センターによる全球客観解析データを用いて中国北西部の乾燥地域の水蒸気の流れについて解析した。季節変化・年々変動の研究は今後の課題とし、ここではまず夏季の気候の状態の把握を行なうこととした。全球客観解析データは FGGE (1979) 年以降整備されてきているが、予報解析モデルの進展・発散成分の取り扱い・水蒸気解析の精度を考慮して、1986 年以降 6 年間のデータを使用することとした。

2. データと解析方法

米国気象局 (U.S. NMC) による 1986 年から 1991 年の 6 年間の 1 日 2 回 (00UTC, 12UTC) の全球客観解析データを用いた。データは全球を東西 2.5 度、南北 2.5 度でカバーしている。高度・東西風速・南北風速・気温の 4 要素については鉛直 18 層 (1000, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 10, 5, 2, 1, 0.4 hPa) のデータがある。ただし 30 hPa 以上の成層圏は 12UTC のみの 1 日 1 回である。300 hPa 以下の下層 6 層には、相対湿度のデータがある。

東西 2.5 度、南北 2.5 度の格子点毎に、1000, 850, 700, 500, 400, 300 hPa の各気圧面で、気温と相対湿度から混合比を計算した。ここで飽和水蒸気圧の計算には Tetens の式を使った。この混合比を地表から 300 hPa まで鉛直に積分することで可降水量 (大気中の全水蒸気量) を求めた。また混合比と風速から各気圧面での水蒸

気フラックスを求め、更にこれを地表から 300 hPa まで鉛直に積分することで大気中の全水蒸気フラックスを計算した。以上の計算は 1 日 2 回行ない、これを平均することで月平均値を求めた。以下ではこの月平均値による夏季 3 カ月 (6-8 月) 間の季節平均値及び 6 年間の平均値として得られた気候値についての解析結果を述べる。

3. 結果

1) 可降水量

図 1 に夏季の可降水量の分布を示す。チベット山塊の南縁を境とする可降水量の南北のコントラストがはっきり現われている。すなわちヒマラヤ山脈の南側のインド亜大陸やインド洋、インドシナ半島から中国南部にかけては 40 mm 以上、多いところでは 70 mm に達する水蒸気が大気中に含まれている。それに対してユーラシア大陸内部では可降水量が極端に少ない。チベットの山岳部より北側では、ヨーロッパから東へ向かうに連れて可降水量が漸減している。これは後に述べるように、水蒸気がヨーロッパ方面からユーラシア大陸内部へ輸送されていることを示唆するものである。サウジアラビアや北アフリカの砂漠域でも大気は乾いている。カスピ海や黒海等、広い水面に接したところでは周囲の陸地に比べて可降水量が大きいことがはっきりと示されている。点彩を施した可降水量が 15 mm 以下のところを見ると、イランのザクロス山脈を含めて 1,500 m 以上の山岳部とおおむね一致しており、北と南を分けて東西にのびる可降水量の極小ベルトを形成している。

タクラマカン砂漠では周囲山地に比べて水蒸気量が少なくなっていることがわかる。これは基本的には大気量、すなわち地表面の海拔高度の差そのものから来ている。タクラマカン砂漠域の可降水量を 40°N, 80°-90°E の領域で平均すると 18.2 mm であった。もちろん可降水量はこの図に示した夏季に最大で、他の季節は冬季 5.9 mm, 春季 8.0 mm, 秋季 9.6 mm で、年間 10.4 mm となる。なお東側のゴビ砂漠域 (40°N, 100°-110°E) では、冬季 3.7 mm, 春季 6.9 mm, 夏季 19.5 mm, 秋季 9.0 mm, 年間 9.8 mm で、タクラマカン砂漠域とほぼ拮抗する水蒸気量であるが、タクラマカン砂漠域より大きい季

* 気象研究所気候研究部

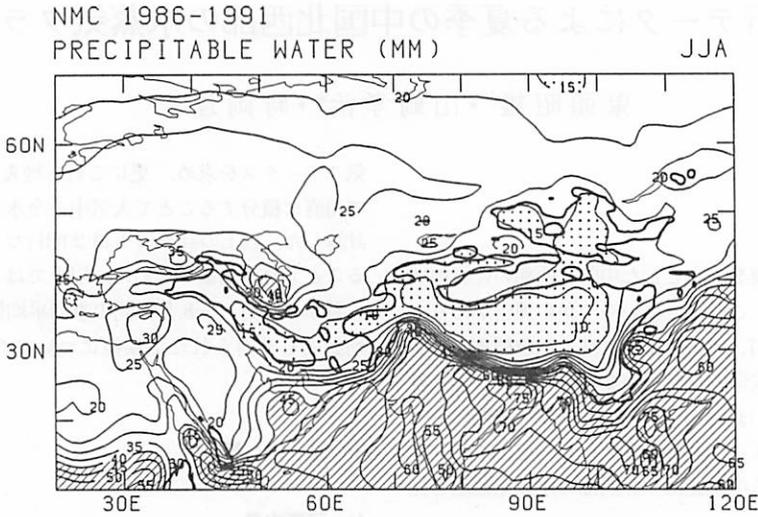


図1. 10°-70°N, 20°-120°E における 6-8 月の可降水量 (大気中の全水蒸気量) の分布. 1986-1991 年の 6 年平均値. 等値線は 5 mm. 40 以上に斜線, 15 以下に点彩. 太線は 1500 m の等高線.

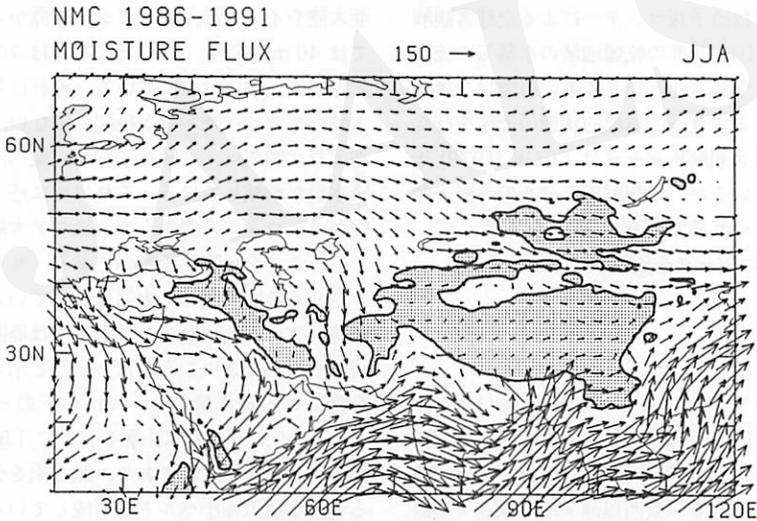


図2. 全大気中の水蒸気フラックス. 6-8 月の 6 年平均値. レファレンスベクトルは 150 kg/m/sec.

節変化を示している.

2) 全水蒸気フラックス

次に夏季の全大気中の水蒸気フラックス平均場を図2に示す. インド洋からの南成分を持った水蒸気はチベット山塊によって完全にブロックされている. 中国北西部にとってはヨーロッパから来る水蒸気が重要である. ヨーロッパ・ロシアからウラル山脈方面へ向かう水蒸気フラックスは, カザフ草原を経てパミール高原の西をアラビア海方面へ南下する成分と, バルハシ湖付近からテ

ンジャン・アルタイ両山脈間を東流する成分とに分かれる. 後者はゴビ砂漠域を抜け華北へ達している. これらの水蒸気フラックスは, 図に示した気候値のみでなく解析した6年間それぞれに共通して見られる. タクラマカン砂漠内ではフラックスは一般に弱い.

吉野 (1991, 1992) による地上観測所のデータによる卓越風系, 及び谷田貝・安成 (1992) による水蒸気フラックスベクトル図によると, タリム盆地東部ではテンジャン山脈の東を迂回してタクラマカン砂漠に侵入してくる東からの気流が報告されている. 後に述べる客観解

NMC 1986-1991
STABILITY ZONAL M.F. JJA

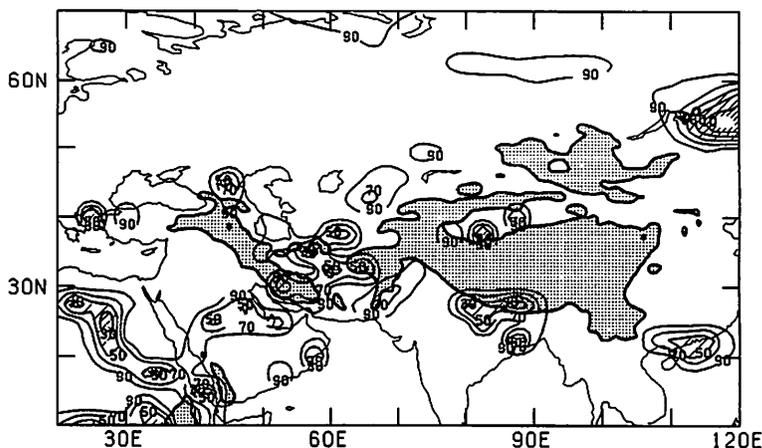


図3. 水蒸気フラックス東西成分の安定度。
各年の6-8月平均値を Q_i とし、 $S=100 \times |\Sigma Q_i| / \Sigma |Q_i|$ で安定度指数を定義した。

NMC 1986-1991
STABILITY MERIDIONAL M.F. JJA

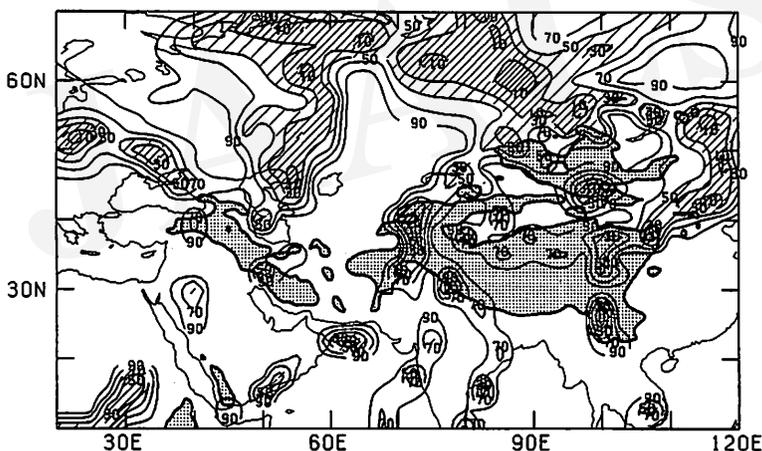


図4. 水蒸気フラックス南北成分の安定度。

析データによる地表付近の風系解析でもこの東風成分は確認されている。

一方、図2からは40°Nでパミール高原とテンジャン山脈の間を東流する成分と、ジュンガリア盆地からテンジャン山脈を越えて90°E付近でタリム盆地へ入る水蒸気フラックスが見られるが、東側からタクラマカン砂漠へ吹き込む成分は、少なくとも夏季3カ月平均の気候値では見られない。ただしこれについては、6年平均ではなく各年の水蒸気フラックスを見ると、40°N, 87.5°E付近にフラックスの東風成分が観測される年もあった。

そこで水蒸気フラックスの年々変動の大きさを見積る

ために安定度指数を $S=100 \times |\Sigma Q_i| / \Sigma |Q_i|$ で定義した。 Q_i は各年の3カ月平均水蒸気フラックスであり Σ は6年間の平均を表わす。図3、図4はそれぞれ水蒸気フラックスの東西成分、南北成分の安定度指数である。

これらから、ヨーロッパ・ロシアの東西成分やカスピ海とパミール高原間の南北成分は安定度指数が極めて高く、図2で述べた特徴は解析した6年間に共通して見られるものであることが分かる。安定度の低い領域は、それぞれの成分の絶対値の小さい領域と重なっている。タクラマカン砂漠内では前述の40°N, 87.5°Eで東西成分の安定度が小さく、少なからぬ年々変動の存在を示して

NMC 1986-1991
MOISTURE FLUX DIVERGENCE (MM/DAY) JJA

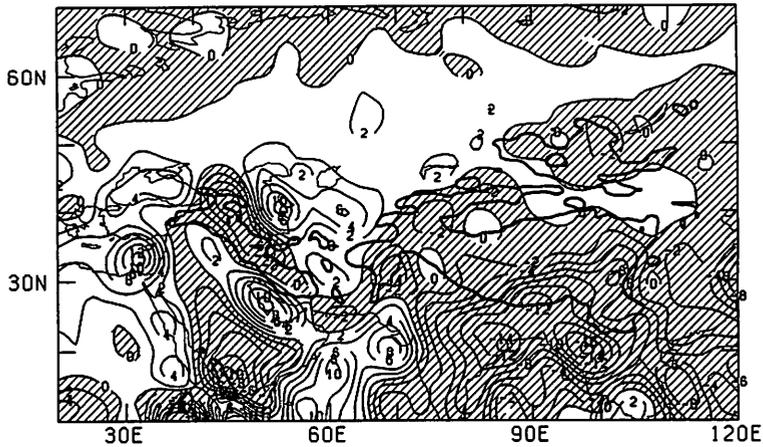


図5. 水蒸気フラックス発散量. 6-8月の6年平均値.
等値線は2 mm/day. 斜線は収東域.

OMEGA 500MB JJA

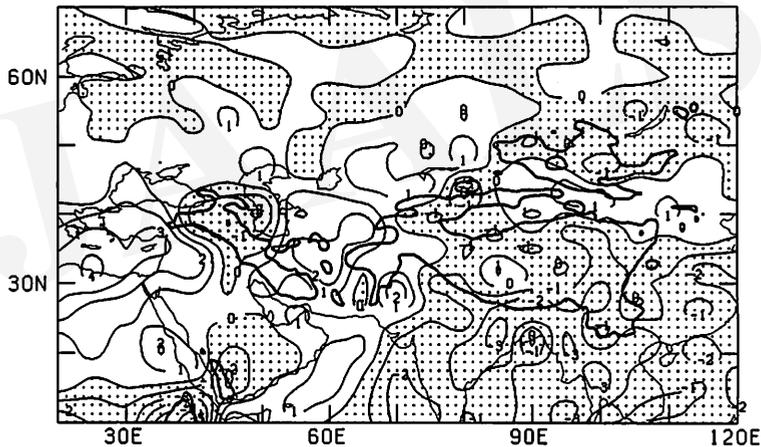


図6. 500 hPa 上昇流. 6-8月の6年平均値.
等値線は1 hPa/hour. 負(上昇流域)に点彩.

いる.

3) 水蒸気フラックス発散量と500 hPa 面上昇流

図5に水蒸気フラックス発散量を示す。これは図2の地表～300 hPaで鉛直積分した大気中の全水蒸気フラックスにもとづく発散である。斜線を施した収東域が蒸発量より降水量が多い領域、白抜きの発散域が蒸発量が降水量を上回っている領域と近似的に考えることができる(期間中の可降水量の変化、及び1日2回のデータを使用していることによる計算誤差を無視している)。

チベット高原の南側及び東側は広範な水蒸気収東域(降水量>蒸発量)になっているのに対して、チベット高

原の北側及び西側のロシアでは水蒸気発散域(降水量<蒸発量)となっている。またアラビア海、地中海、黒海、紅海、ペルシャ湾、カスピ海の水面上の発散極大域、イランのザクロス山脈の収東域も特徴的である。

中国北西部では、フラックス量自体が小さいこともあり、収東・発散量はゼロに近いが、タクラマカン砂漠及び東側のゴビ砂漠域(40°N, 100°-110°E)での水蒸気フラックス発散、周囲山地での収東が読み取れる。

図6は大気中層500 hPaでの上昇流分布である。上昇流域(下降流域)は水蒸気フラックス発散(収東)分布(図5)とおおむね一致している。これはほとんどの領域において大気中の全水蒸気フラックス発散が、水蒸

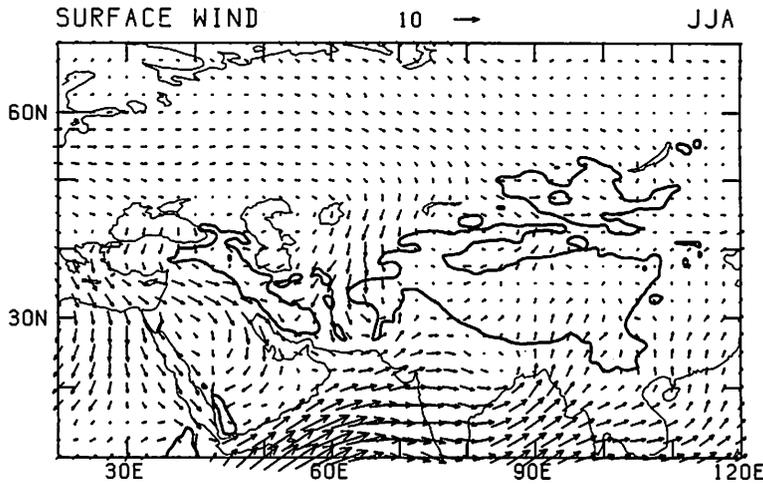


図7. 地表風ベクトル. 6-8月の6年平均値.
レファレンスベクトルは 10 m/sec.

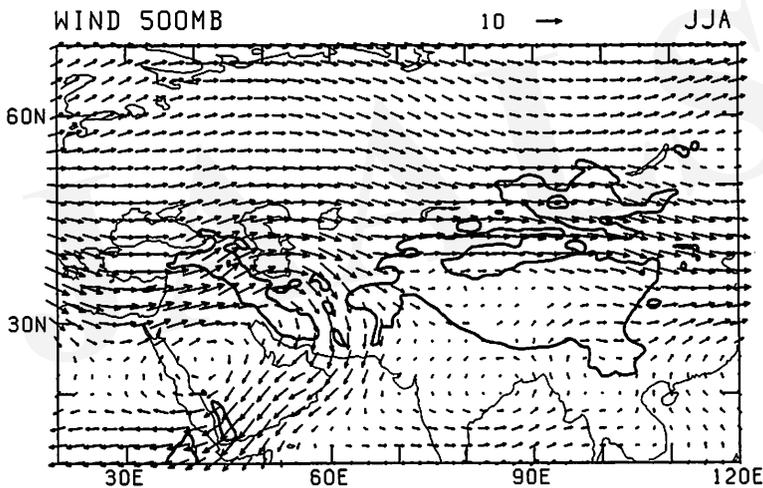


図8. 500 hPa 風分布.

気量の多い大気下層における発散を反映しているためである。図は示さないが、各気圧レベルでの発散分布で確認できる。

強い上昇流はベンガル湾東部からインドシナ半島とインド東部、インド西岸沖にあり、気候学的にも降水量が多い所と一致している。ザクロス山脈、アラビア半島南西部及びエチオピアの山岳部（図の左下隅）でも上昇流が解析されている。一方、組織的な下降流は地中海から北アフリカと、イラン、アフガニスタンからアラビア海西部にあり、ウラル一帯も広い下降流域になっている。さらに 90°E 以東、40°N に沿った中国西部も組織だった下降流域になっており、バックグラウンド的に下降流で降水が抑制されることで、この地域の乾燥気候維持メカニズムの一翼を担っている。

同じ乾燥地域ではあってもタリム盆地西部の 80°E 付近では、全水蒸気フラックスでは若干発散になっているにもかかわらず、500 hPa 面ではむしろ上昇流域になっていることに注目したい。各気圧レベルの発散分布からも、200 hPa で発散の中心が 40°N, 80°E に解析されており、タクラマカン砂漠とゴビ砂漠の大循環的な違いを表わしている。

4) 地表と 500 hPa 面の風系

吉野 (1991, 1992) は地上観測点の卓越風系図を紹介している。それによると、夏季にはテンション山脈の東を迂回してタクラマカン砂漠に侵入してくる東からの気流と西からの気流があり、それらが 83°-84°E 付近で収束している。客観解析データではどうなっているのら

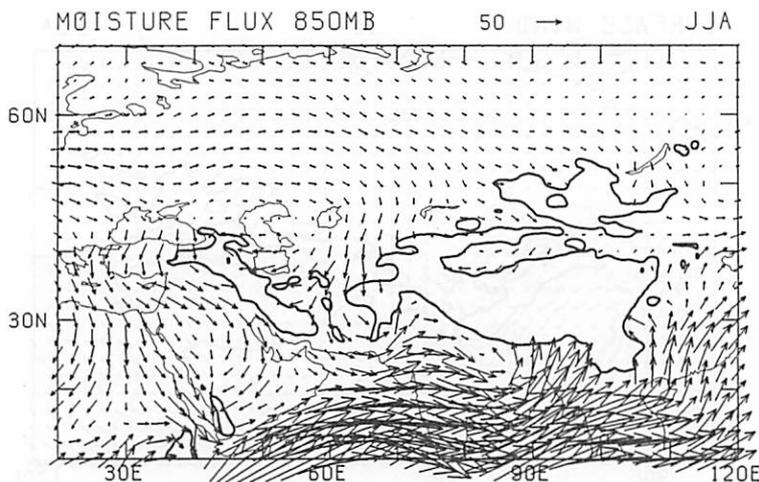


図9. 850 hPaの水蒸気フラックス. 6-8月の6年平均値.
レファレンスベクトルは 50 g/kg·m/sec.

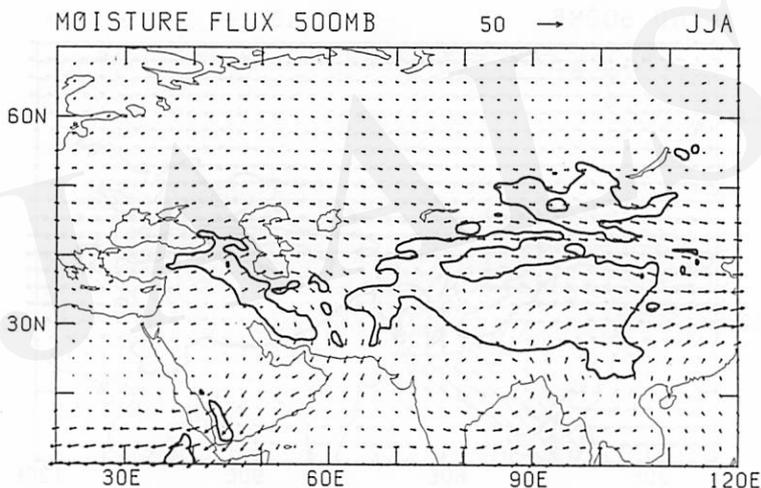


図10. 500 hPaの水蒸気フラックス.

うか.

図7に夏季の平均地表風を、図8に500 hPaでの風ベクトルを示す。地表風は指定気圧面のデータから単純に $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ グリッドでの海拔高度における値に内挿した。したがって大気境界層中の成層構造は考慮していない。

まず地表風であるが、アラビア海やベンガル湾での南西モンスーン流が顕著にみられる。全水蒸気フラックスの特徴としてあげたようにパミール高原の西側には強い北風成分がみられる。これは地表のみにとどまらず下部対流圏を通して観測され、850 hPaで最大となる季節平均値でも8 m/sec程度の北風がイランとアフガニスタンの国境付近($\sim 60^\circ E, 30^\circ - 35^\circ N$)に解析されている。

タリム盆地付近の特徴は、バルハシ湖の北からテン

シャン・アルタイ両山脈間をジュンガリア盆地に吹き込む北西風が、テンシャン山脈を迂回してからタリム盆地では北東風となっていることである。これは先に吉野(1991, 1992)が紹介した地上観測による結果と一致している。すなわちこの程度の時間・空間スケールの現象に対する全球客観解析値の有効性を示している。この地表の北東風はタリム盆地最西部で収束している。

500 hPa面に目を転じると大気下層に限定されていた南西モンスーン流が弱くなり、逆にユーラシア大陸上の強い偏西風が支配的となる。アラビア半島(と北アフリカ)には高気圧の中心があり、イランからサウジアラビア南部を経てエチオピア高地にかけて高気圧性の強い流れがある。より上空(~ 200 hPa)ではチベット高気圧とアラビア半島の高気圧とが合体して一つのより大きい

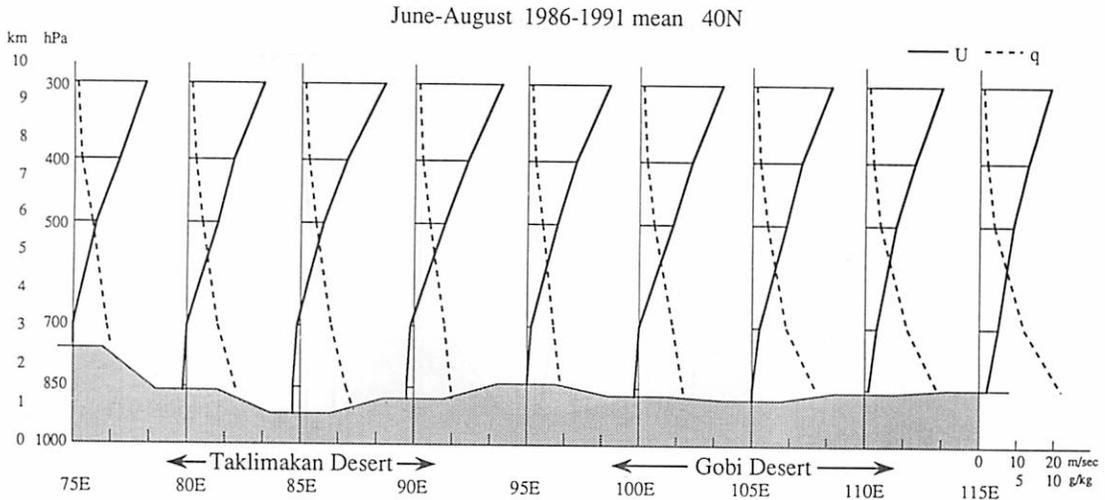


図 11. 40°N に沿う 75°-115°E の東西風 (U) と比湿 (q) の鉛直分布. 6-8 月の 6 年平均値.

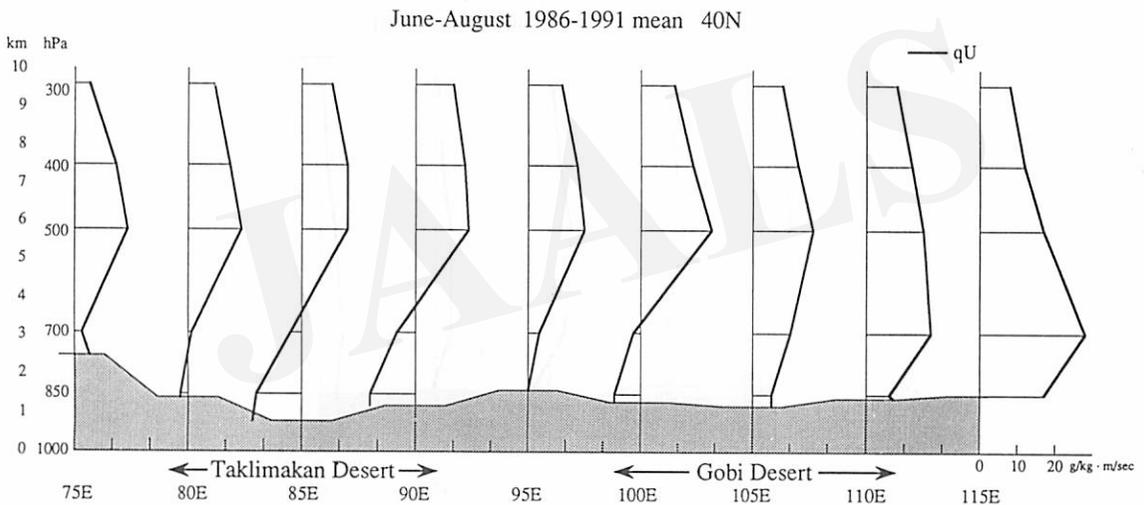


図 12. 40°N に沿う 75°-115°E の水蒸気フラックスの東西成分 (qU).

高気圧ベルトを形成する。チベット高原の北部ではロシアからの偏西風がそのまま中国へ抜けていっている。地表風で見られたテンシャン山脈を迂回して北東からタクラマカン砂漠域へ吹き込む気流は、700 hPa 面の少し上まで追うことができる（後述）が、500 hPa 面では見られない。

5) 水蒸気フラックスの鉛直分布

次に 850 hPa 及び 500 hPa の各気圧面での水蒸気フラックス図を掲げる（図 9, 10）。

850 hPa 面では、何といてもアラビア海・ベンガル湾上の南西モンスーン流に伴う水蒸気フラックスが格段に大きい。地中海から北アフリカ・アラビア半島方面へ、及び中央アジアをイラン高原とパミール高原の間の

鞍部へ向けての北からのフラックスがそれに次いで大きい。以上の特徴は 1000 hPa 面でも共通してみられる。

一方、タリム盆地内ではほぼ全域で東風フラックスとなっている。テンシャン山脈を回り込む平均的な水蒸気の流れは 700 hPa 面でも同様である。しかし 500 hPa 面ではもはやタリム盆地での東風成分はなく、ユーラシア大陸上では偏西風を反映した西風フラックスが全域を覆っている。すなわちタリム盆地内では 700 hPa 面より下で東風、上では西風のフラックスとなっている。

この辺の事情を更に分かりやすく示すために、40°N に沿う東西風、比湿、水蒸気フラックスの東西成分の鉛直分布を図 11, 12 に示した。

まずタクラマカン砂漠域 (80°-90°E) を見てみよう。風速は一般に上層ほど大きいですが、タリム盆地内では先に

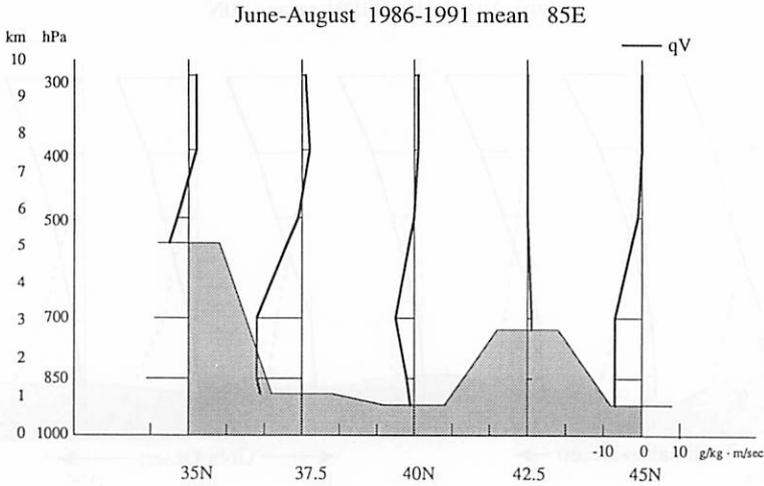


図 13. 85°E の水蒸気フラックスの南北成分 (qV) の鉛直分布. 6-8月の6年平均値.

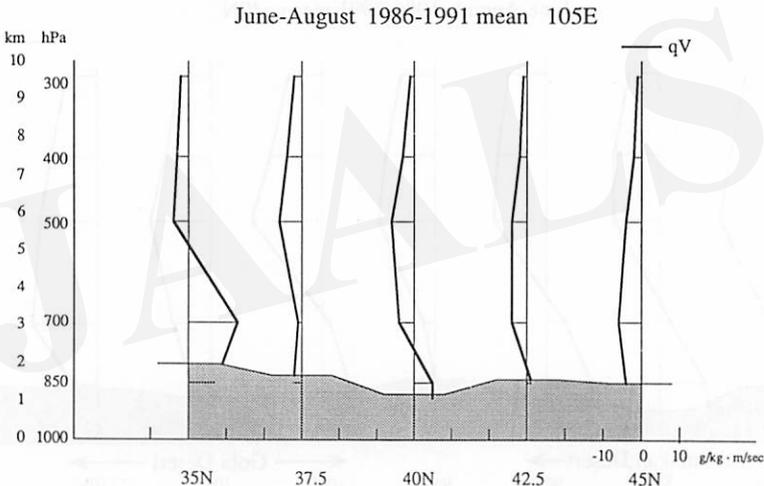


図 14. 105°E の水蒸気フラックスの南北成分 (qV) の鉛直分布.

述べたように 700 hPa 面付近を境にして風向が変わる。ただし地表付近の平均風は弱い。一方水蒸気量は気温の高い下層ほど多く含まれている。その結果、タリム盆地内での水蒸気フラックスの東西成分は、上層での水蒸気量は小さいが強い西風で稼いだ東向きフラックスと、下層での多い水蒸気と弱い東風による西向きフラックスとがかなりの程度相殺されたかたちになっている。解析した6年間のうち、1989年には下層の西向きフラックスが上層の東向きフラックスとほとんどキャンセルしあい、気柱全体でも小さい西向きフラックスになっているところ (40°N, 87.5°E) も見られた。

砂漠中央部 (40°N, 85°E) での東西の水蒸気フラックスは、対流圏下層ではより西部の山岳にせき止められる形で水蒸気の収束が起り、対流圏上層では偏西風が東

側ほど徐々に強まり水蒸気の発散が起っている。

南北成分はどうであろうか。図 13 に 85°E における水蒸気フラックスの南北成分の鉛直分布を示す。タラマカン砂漠中央部まで 700 hPa より下層での東風によって運ばれてきた水蒸気は、砂漠内では南側の山岳の北側斜面で収束、山岳部での上昇流に伴う凝結に寄与していると考えられる。40°N, 85°E では南北方向の下層発散が東西方向の下層収束を上回っている。図 2 で示した全水蒸気フラックスは、このように鉛直方向の構造をもった各レベルの水蒸気フラックスを全大気中で積分したものである。

ゴビ砂漠域 (100°-110°E) の事情は大きく異なる。図 1 で見たようにチベット高原の東側では東に向かうにつれ可降水量が急増している。また地表付近の風速自身も

東に向かうにつれ強まっており、対流圏下層では東側ほど水蒸気フラックスが大きい。そのためこの領域では対流圏下層を中心に顕著な水蒸気発散が観測されている。105°Eにおける水蒸気フラックスの南北成分の鉛直分布を図14に示すが、この領域では南北成分の寄与は東西成分に比べてかなり小さい。

以上のようにタクラマカン砂漠域とゴビ砂漠域では、同じ乾燥域とは言っても夏季の大循環の様子はかなり異なっていることが分かる。すなわちタクラマカン砂漠域ではテンシャン山脈の東を迂回して入り込んでくる下層の水蒸気が周囲山岳での上昇流を伴う局地循環で山岳斜面に運ばれ、かつ上層でも水蒸気はより東側へと発散しているのに対し、ゴビ砂漠域ではチベット高原下流の大規模場の下降流域・下層発散域であることが乾燥気候の主要因となっていると考えられる。

4. ま と め

最近6年間の全球客観解析データを用いて、夏季の中国北西部の水蒸気フラックスの水平・鉛直分布を調べた。その結果ヨーロッパ・ロシアから来る東向きの水蒸気フラックスは、中央アジアからパミール高原の西を南下する成分と、バルハシ湖付近からテンシャン・アルタイ両山脈間を東流する成分が解析した6年間を通してどの年にも見られた。

タクラマカン砂漠域では、地表付近をテンシャン山脈の東を迂回して入り込んでくる下層の水蒸気が重要である。ただし上層では逆に発散傾向の西風フラックスがあるので、大気全層の水蒸気フラックスではこの構造はよ

く見えなくなる。東西成分により下層で砂漠中央部に運ばれた水蒸気は、南側の山岳の北側斜面に運ばれ、そこでの上昇流を伴う局地循環に寄与していると考えられる。

一方ゴビ砂漠域では東西成分が支配的である。ここではチベット高原下流の大規模場の下降流域・下層発散域であることが乾燥気候の主要因となっている。

水収支の解析には、もとより水蒸気輸送と合わせて降水量・蒸発量・流出量のデータが必要である。現在中国の乾燥地域を舞台としたいいくつかの共同研究が行なわれ、データが整備されつつある。これらの研究を通じて、過去に中国で観測されたデータの発掘・整備も合わせて行なわれれば、中国乾燥域の水循環の解明にとどまらず、1990年代後半以降に予定されているGEWEX (Global Energy and Water Cycle Experiment—全球エネルギー・水循環観測計画) に向けての良い貢献となろう。

謝 辞

この研究は科学技術庁振興調整費「砂漠化機構の解明に関する国際共同研究」の一環として行なった。計算には日立製作所情報システム開発本部(日立システムプラザ新川崎)のHITACS-820/60及び気象研究所のHITAC S-810/10を用いた。

引用文献

- 谷田貝亜紀代・安成哲三(1992): 中国乾燥・半乾燥地域、及びその周辺地域における降水と水蒸気輸送について。「日本気象学会1992年春季大会講演予稿集」61: B315。
吉野正敏(1991): 中国の乾燥地域と半乾燥地域の気候—特に砂漠化機構に関連した既存資料の調査(1)—。77 p。
吉野正敏(1992): 新疆の沙漠地域の風と雨。「沙漠研究」1: 1-15。

Summertime Moisture Flux in the Desert Regions of Western China

Akio KITOH*, Koji YAMAZAKI* and Tatsushi TOKIOKA*

Summertime (June-August) moisture flux in the western China is calculated using the twice-daily global objective analysis data by the U.S. National Meteorological Center for the period 1986-1991. Moisture, which comes from Europe-Russia, deflects at the western Pamirs. One branch goes southward. Another branch is the eastward moisture flux from the Lake Balkhash to the Dzungaria Basin. Southwestward transport from the Turfan Basin to the Taklimakan Desert region is noticeable in the lower troposphere. In the upper troposphere over the Taklimakan Desert, moisture diverges due to increasing westerlies. A local moisture circulation between the desert and the surrounding mountains is important in the Taklimakan Desert region. On the other hand, in the Gobi desert, large-scale downward motion with lower-tropospheric divergence, that is the downwind effect of the large Tibetan plateau, is the main factor to make the region dry.

Key Words: Taklimakan Desert, Gobi Desert, Moisture Flux, Water Budget

* Meteorological Research Institute. 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan.

特集：「地球環境研究の動向」に寄せて

門 村 浩*

1992年6月3～14日の間、ブラジルのリオで「国連環境開発会議」(UNCED), 通称「地球サミット」が開催された。「国連人間環境会議」(1972年)から20年を経て開催されたこの会議では、21世紀における人類の生存のために不可欠な、地球環境の持続的な管理・利用の原則と行動戦略が、「リオ宣言」と「アジェンダ21」の形で国際的コンセンサスのもとに採択された。「地球サミット」の準備が始まった1980年代半ば以来、地球環境をめぐる問題は、現象面でも、またその対策への国際的な取り組みと学術研究の面でも大きな転換期を迎えている。科学研究の分野では、地球環境変動の将来予測を目的とする「地球圏—生物圏国際協同研究」(IGBP)が開始されるなど、文字どおり地球規模で総合的・学際的な協同研究が行なわれる時代となった。

日本沙漠学会では、こうした地球規模環境問題に対する最近の国際的な取り組みと研究動向を展望する目的で、第3回学術大会の一環として、1992年5月16日(土)東京都立大学理工教室棟を会場に、2週間後に開催が迫った「地球サミット」を視野に入れて、『地球サミット「国連環境開発会議」と地球環境研究の動向』と題する公開特別講演会を開催した。講演会は、招待講師による次の3題の講演と各講演に対する短い質疑応答に引き続いて、総合討論を行なうという形で進化した。

・飯島 孝 (環境庁地球環境部研究調査室長): 地球サ

ミットの課題と展望

- ・内嶋善兵衛 (お茶の水女子大学理学部教授): 地球環境とエネルギー問題
- ・サンガ・ンゴイ・カザディ (ザイール国立キンシャサ大学理学部教授・創価大学アフリカ研究センター研究員): アフリカの開発に伴う環境問題

注: 所属はいずれも講演当時

この小特集は、この時の講演に基づいて書き改められた論文と、講演会における質疑応答・総合討論の概要を収録したものである。飯島氏の報告には「地球サミット」で国際社会が合意した環境管理のための原則と行動計画の要点がまとめられている。内嶋氏は地球レベルでのエネルギー利用の立場から、自然と人類の共生が不可欠ことを主張されている。サンガ氏はアフリカの村での自然との共存を基礎とした持続的発展のための行動から発想して、地球環境問題を展望されている。質疑と総合討論では、環境研究の新たなパラダイムなど、示唆に富む話題に議論が集中し、参加者一同深い感銘を受けた。ここに収録の3論文の内容とともに、本学会における今後の研究活動が学ぶべきところが多大である。

この機会に、貴重なご講演を賜ったうえ、お忙しい中を割いてこの小特集のためにご寄稿いただいた3人の方々に厚くお礼申し上げたい。

Special Report: Earth Summit and Recent Trend in Global Environment Research—Introduction

Hiroshi KADOMURA*

The Japanese Association for Arid Land Studies organized a Special Forum on "Earth Summit and Recent Trend in Global Environment Research" on the occasion of its 3rd General Meeting, on 16 May, 1992. The objectives of the Forum were to review expected outcomes of the United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), held from 3-14 June, 1992 at Rio de Janeiro, and to search for new paradigms for the studies of global environmental issues. The three keynote lectures given by invited speakers, were respectively shaped into a paper and are collected here as a Special Report, with the records of discussions.

* 公開特別講演会コーディネーター、東京都立大学理学部地理学教室

Coordinator of the Special Forum, Department of Geography, Faculty of Science, Tokyo Metropolitan University

地球サミットとその成果†

飯 島 孝*

United Nations Conference on Environment and Development (UNCED)

Takashi IJIMA*

地球サミットは、国連総会決議に基づき、地球環境を保全しつつ開発を進める、いわゆる持続可能な開発の実現のための具体的な対応方策を得ることを目的として、1992年6月3日から14日までブラジルのリオデジャネイロにおいて開催された。この会議には、約180カ国が参加し、100カ国余の元首、首脳が自ら出席する等、史上かつてないほどハイレベルかつ大規模の会議となった。

この会議では、別途交渉された気候変動枠組み条約と生物多様性条約の署名が開始されるとともに、環境と開発に関するリオ宣言、アジェンダ21および森林原則声明などの文書が合意された。

地球サミットは、その準備プロセスを通じて環境と開発に関する世界の関心を定着させた点、各国の最高意思決定レベルで地球環境保全に向けた合意が成立した点で大きな成果を上げたと評価できる。今後、この地球サミットを出発点として、その成果をフォローアップし、着実な環境保全の実施を図っていくことが重要である。

1. 開催期間 1992年6月3日～14日
3日～11日：全体会合・政府代表演説（5日、中村環境庁長官政府代表演説）
：主要委員会・8つのコンタクト・グループにおける検討作業
12日～13日：首脳会議、100余カ国から首脳が参加、閣僚級の全体会合
14日：閉会式
2. 開催場所 リオ・デ・ジャネイロ（ブラジル）
3. 出席者および規模等
国連総会決議により、各国元首・首脳レベルの出席が期待され、世界から約180の国と多くの国際機関等が参加した。全体会合では、3日から11日まで、

約230の政府・国際機関等から一般演説が行なわれた。日本は、5日に中村環境庁長官・地球環境問題担当大臣が、政府代表演説を行なった。12日および13日には、世界100余カ国から首脳が参加して、首脳演説が行なわれ、13日午後3時から4時まで首脳による円卓会議が開催された。なお、宮沢総理は出席できなかったが、総理演説が会場で配布され、国連の正式文書として記録された。

4. 会議事務局・組織

- (1) 事務局長 モーリス・ストロング（カナダ）

本 部 ジュネーブ

- (2) 本会合の組織

地球サミット議長：コロール・ブラジル大統領

主要委員会議長：トミー・コー・シンガポール大使

主要委員会の下に資金協力等8つのコンタクト・グループを設置。

[各グループの議長]

- ①資 金（リクベロ議長：ブラジル）
- ②技 術 移 転（アルダース議長：オランダ）
- ③大 気（シェーレン議長：スウェーデン）
- ④森 林（リバート議長：ガイアナ）
- ⑤生物多様性・バイオテクノロジー（サンチェス議長：チリ）
- ⑥淡 水（シャイブ議長：ナイジェリア）
- ⑦国 際 法（ナビル議長：エジプト）
- ⑧機 構（ラザリイスタル議長：マレーシア）

5. 主要成果

地球サミットでは、「環境と開発に関するリオ宣言」、「アジェンダ21」および「森林原則声明」等の文書について合意が成立し、最終日にこれらの実施を求める決議が採択され、我が国も署名を行なった。これらの文書の概要は次のとおりである。

* 環境庁企画調整局地球環境部、現、厚生省生活衛生局

† 本稿は1992年5月17日に行なわれた公開特別講演会「地球サミット「国連環境開発会議」と地球環境研究の動向」の講演資料を書き改めたものである。

(1) 「環境と開発に関するリオ宣言」の採択

環境と開発に関する国際的な原則を確立するための宣言。前文および27の原則から構成されており、持続可能な開発に関する人類の権利、自然との調和、現在と将来の世代に衡平な開発、グローバルパートナーシップの実現等を規定。

(2) 「アジェンダ21」の採択

21世紀に向けての具体的な行動計画。I. 社会的、経済的要素。II. 開発のための資源の保全と管理。III. 主要な社会構成員の役割の強化。IV. 実施手段、の4部(全体で40章、約500ページ)から構成されている。大気保全、森林、砂漠化、生物多様性、海洋保護、廃棄物等の具体的な問題についてのプログラムを示すとともに、その実施のための資金、技術移転、国際機構、国際法のあり方等についても規定。

重要な合意としては、砂漠化防止のための条約交渉の開催が合意されたこと、公海漁業と環境問題に関する国際会議の開催が合意されたこと、アジェンダ21の実施のための資金として各国ODAを対GNP比0.7%とする目標の早期達成が再確認されたこと、世界銀行、国連環境計画等の管理下にあるGEF(地球環境ファシリティ)の拡充強化が合意されたこと、地球サミットをフォローアップするための持続可能な開発委員会を国連の経済社会理事会の下に設置すること等があげられる。

(3) 「森林原則声明」の採択

前文および15の原則から構成されており、森林の管理、保全、持続可能な開発に貢献し、森林の多様かつ補完的な機能の保持と利用を行なうための原則をうたった世界で初めての合意文書である。

(4) 「気候変動に関する国際連合枠組み条約」、「生物多様性に関する条約」への署名

6. 我が国の対応

我が国は、気候変動枠組み条約の交渉において作業部会の議長国になるなど、地球サミットの準備過程において各種会合に積極的に参加し合意形成に貢献してきた。また、1991年7月には、アジア太平洋地域環境大臣等の出席を得て、東京でアジア太平洋環境会議を開催し、この地域での各国の政策調整に主導的役割を果たした。さらに、1992年4月には、地球環境問題を解決するための資金協力のあり方の議論を促進するため、「地球環境賢人会議」の開催に協力した。

このような準備過程での貢献に加え、我が国は、地球サミットに中村環境庁長官を政府代表とする代表団を派遣し、アジェンダ21、森林原則声明など各分野での合意形成に努力した。

6月5日に地球サミットの本会議で中村環境庁長官が政府代表演説を行ない、我が国の過去の経験からみて環境保全と経済発展の両立は可能であり、我が国としても地球温暖化対策を始めとして地球環境問題の解決に向けて最大限の努力をすることを表明した。また、宮沢総理は出席できなかったものの、総理演説は公式記録として会場で配布され、その中で我が国は今後5年間に環境分野の政府開発援助を9,000億から1兆円を目途に大幅に拡充強化すること等、我が国が地球環境の保全に重要な役割を担う決意であることを表明した。これらの演説は、各国および参加団体から大きな評価を受けた。

また、我が国は、6月13日、「気候変動枠組み条約」と「生物多様性条約」に署名を行ない、他の諸国とともにこれらの条約に参加し地球環境の保全に向けて努力していくことを明らかにした。

7. 成果の概要

(1) 環境と開発に関するリオ宣言

先進国は、環境保全に重点を置き、途上国は、開発および貧困問題解決を重視した。米国等が「占領地の環境」の規定に難色を示していたが、アジェンダ21にある「占領下の人民」関連の表現をすべて削除し、この削除に伴いアジェンダ21の前文に「リオ宣言中のすべての原則を全面的に尊重する」旨の文言を挿入することで妥協が成立し、原案どおり採択された。

(2) 共通の事項

ア. 資金問題(アジェンダ21第33章)

①途上国側は、アジェンダ21実施のための独立の基金の新設を要求。先進国側は、既存の二国間、多国間のメカニズムの最大活用による対応を主張し、対立があったが、地球環境賢人会議の東京宣言の方向に即して、既存メカニズムを活用するとの考え方により、解決が図られた。

②地球環境ファシリティ(GEF)については、アジェンダ21の下に行なわれる関連活動の合意された増加費用をカバーするものとされ、特に、以下の点を改革すべしとされた。

- ・普遍的な参加の奨励
- ・その対象の拡大に十分柔軟であること
- ・透明かつ民主的な管理が確保されること等

③アジェンダ21実施に必要な経費についての事務局推計(年間1,250億ドル等)については、「事務局が試算した指標的なものであり、かつ、政府間で何ら議論されていないもの」と規定したうえでアジェンダ21に盛り込まれることとなった。

④ODA対GNP比0.7%目標の達成期限について

は、「先進国は、同目標達成の誓約を再確認し、達成していない場合には、できるかぎり速やかに同目標を達成し、また、アジェンダ21の迅速かつ効果的な実施を保証するため、援助計画を増加させることに合意する。また、いくつかの国は2000年までに同目標を達成することに合意する(または合意した)」ことで決着した。また、国連経済社会理事会の下に設置されることとなった「持続可能な開発委員会」の下で目標達成に向けての努力の点検を定期的に行なうこととなった。

- ⑤国際開発協会 (IDA) 第10次増資については、最貧国が持続可能な開発の目的を達成することを助けるため、世界銀行総裁が地球サミットにおいて行なった演説(第10次増資において「地球のための増加」を行なうことを提案)に特別な考慮が払われるべきこととされた。

イ. 技術移転 (アジェンダ21 第34章)

- ①技術移転の条件については、「譲許的及び特恵的な条件を含む、相互に合意するような好意的な条件で」行なわれることで合意された。
- ②知的所有権の強制取得については、知的所有権に関する国際合意の該当事項に基づく場合に限ることが明記された。
- ③先進国の技術への途上国の保証されたアクセスの確保については、アクセスの拡大が促進されることで合意された。

ウ. 機構問題 (アジェンダ21 第38章)

地球サミットのフォローアップのための国連機構の整備が議論され、国連総会、経済社会理事会等の既存のフォーラムを活用すべきか、「環境と開発に関する委員会」を新設するかで対立があった。議論の結果は、次のとおりである。

- ①政府間機構・総会が意思決定の最高機関であり、遅くとも1997年までに環境と開発特別総会を開催する。
- ・経済社会理事会が、アジェンダ21の実施状況を監視し、国連システム内の調整を行なう。
 - ・持続可能な開発委員会を経済社会理事会の下に設置する。
- ②事務局
- ・国連事務総長に具体案を第47回総会に提示するよう要請する。
- ③国連諸機関・国連開発計画 (UNDP)、国連環境計画 (UNEP) を中心に関係諸機関の機能を強化する。
- ④各国レベル・国別報告書の作成を含め実施体制を

整備する。

- ⑤高級諮問グループの設置につき国連事務総長に對し、勧告を行なうことを要請する。

(3) 個別事項

ア. 森林 (森林原則声明、アジェンダ21 第11章)

- ①将来の森林条約作成問題について、米、独、加が条約作成に積極的であり、マレーシア等途上国はこれに反対した。日本は、漸進的に進めるのがよいとの立場より、まず原則声明の充実・完成を重視した。

議論の結果、

- ・原則声明からは条約化への言及は削除した。
 - ・アジェンダ21においては、「国際協力を推進するためのあらゆる種類の適切な国際的に合意されたアレンジメントの必要性及び可能性を検討する」との表現で決着した。結局、条約化については今後の検討課題となった。
- ②林産物貿易について先進国による制限に途上国が反発した。議論の結果、林産物の貿易ルールは、国際貿易法規および慣行と合致したものであるべきであり、高付加価値林産物に対するよりよい市場アクセスと関税障壁の削減または撤廃が奨励されるべきである旨規定した。
- ③世界の緑化については、先進国に対する非難の調子を排除しつつ、先進国の緑化の必要性を強調することで合意した。

イ. 砂漠化 (アジェンダ21 第12章)

条約作成を強く主張するアフリカ諸国と慎重な姿勢をとる米国とが対立した。結局、「1994年6月までに条約を完成させる目的で、国連総会に条約交渉委員会の設置を要請する」ことで合意した。

ウ. 大気 (アジェンダ21 第9章)

大気のうち地球温暖化については、石油資源使用の使用抑制につながる施策へのOPEC諸国の危惧には強いものがあつたが、再生エネルギーの利用促進、エネルギー効率の改善、交通、工業開発、土地利用の各分野での経済的措置を含む対策の推進を図ることとなった。

エ. バイオテクノロジー (アジェンダ21 第16章)

バイオテクノロジーの開発と商業的利用から得られる利益に関する原産国の利益の配慮についても明記されるとともに、バイオテクノロジーについての安全性に関するガイドラインの必要性と実現性、責任と補償に関する国内法の促進を可能にするガイドライン等について検討することになった。

オ. 有害化学物質 (アジェンダ21 第19章)

UNEP, FAO が進めているロンドンガイドラインに基づき、有害化学物質の輸出入の際に輸入国の同意が必要であるとする制度を作ることとなった。

カ. 地方自治体の役割 (アジェンダ 21 第 28 章)

①目標

この計画分野について、以下のような目標が提案されている。

- 1996 年までに、ほとんどの地方自治体は、地域住民との意見交換を行ない、「ローカルアジェンダ 21」に関する合意を得るべきである。
- 1993 年までに、国際社会は、地方自治体間の協力の増進を目指した取組を開始すべきである。
- 1994 年までに、都市等に関する協会の代表は、地方自治体間の情報と経験の交流の強化を目的とする協力および調整を強化すべきである。
- すべての地方自治体は、意思決定、計画および実施プロセスへの女性および青年の参加の確保を目指したプログラムの実施および進行管理が奨励されるべきである。

②行動

- 各地方自治体は、市民、地方諸団体および民間企業と対話を行ない、「ローカルアジェンダ 21」を採択すべきである。協議と合意形成を通じて、地方自治体は、個々の市民および地方団体、市民団体、コミュニティおよび産業界から学び、最善の戦略の形成に必要な情報を得るであろう。協議のプロセスは、持続可能な開発問題への家庭の関心を高めるであろう。アジェンダ 21 の目的を達成するための地方自治体の計画、政策、法律および規則は、採択された地方計画に基づき評価、修正されるであろう。戦略は、地方、国、地域および国際的資金への提案を支持するためにも用いることができるであろう。
- 地方自治体の計画への国際的な支持を動員するため、UNDP, HABITAT, UNEP, 世銀、地域開発銀行、国際地方自治体連合 (IULA)、世界大都市協会 (WAMM)、世界大都市サミット (SGCW)、都市連合機関 (UTO) 等の関係機関間で、パートナーシップが促進されるべきである。重要な目標は、地方自治体の対処能力の向上および地方の環境管理の分野での既存の機関の事業が支持、拡大、向上されることであろう。このため、一國連システム内の HABITAT 等の機関は、特に国際的な支持の必要性に着目しつつ、地方自治体の戦略に関する情報収集の業務を強化することが求められる。

一国際的なパートナーおよび開発途上国双方が参加した定期的な協議は、戦略を見直し、また、このような国際的支援がどのように最もよく動員されるか検討できるであろう。このような分野別協議は、協議グループやラウンドテーブルで行なわれているような特定の国に着目した協議を補完するであろう。

キ. 国際法 (アジェンダ 21 第 39 章)

- ①環境保護を目的とした貿易規制措置については、国連貿易開発会議 (UNCTAD) およびアジェンダ 21 の他の章で合意された表現にならうことで合意した。
- ②湾岸戦争のような大規模な環境破壊への対応措置につき検討すべき旨規定された。
- ③原子力発電所の安全性確保の問題については、国際原子力機関 (IAEA) で行なわれている原子力安全性についての条約、交渉を完成させるべく努める旨の規定で合意した。

ク. 気候変動に関する国際連合枠組み条約

大気中の温室効果ガスの濃度の安定化の達成を目的とし、地球温暖化を防止するための取組の枠組みを確立する条約。特に、先進国は、1990 年代末までに二酸化炭素等の排出量を 1990 年レベルまでに戻すことを目指して、そのための政策、排出・吸収の予測について締約国会議に通報し、レビューを受けることとされた。本条約は、5 月 9 日、ニューヨークの国連本部にて、コンセンサスにより採択された。

主要先進国を含め、地球サミット開催期間中に 155 カ国が署名を行なった。我が国は、13 日午後、中村環境庁長官および赤尾大使が署名を行なった。

ケ. 生物多様性に関する条約

生物の多様性を保全し、生物資源を持続的に利用し、また、遺伝子資源から得られる利益の公正で公平な分配を目的とする条約。生物資源保全のための各種の措置を規定するとともに、途上国支援のための資金メカニズム、バイオテクノロジーの安全性の確保等を規定。保護対象の多くが存在する途上国の意向を強く反映した内容を有している。本条約は、5 月 22 日、ケニアのナイロビにて、コンセンサスにより採択された。

米国は、資金問題、技術移転等の規定を不満として署名を行なわなかったが、他の主要先進国を含め、地球サミット開催期間中、157 カ国が署名を行なった。我が国は、13 日午後、中村環境庁長官および赤尾大使が署名を行なった。(但し資金問題につき解釈に関する声明を発表した)。

8. スペシャル・イベント・セッション

本会議、委員会会合と並行して UNCED 事務局が関連機関と共催して開催した。

(テーマ) (主な共催機関)

- | | | | |
|------|----|--|---------------------|
| 6月3日 | 午後 | 都市問題 | HABITAT |
| 4日 | 午前 | 賢人特別会合 | |
| | | 4月に東京で開催された地球環境賢人会議のホスト役である竹下元首相が、同会議の報告を行なった。 | |
| 5日 | 午後 | エコ産業革命—生産—労働 | UNIDO 等
ILO/UNDP |
| 8日 | 午前 | 人口と消費、食糧安全保障、貧困エネルギー安全保障 | FAO
UNEP/
WB |
| 9日 | 午前 | 科学と技術 | UNESCO/ICSU |
| 10日 | 午前 | 持続可能な倫理 | |
| | 午後 | 教育 | UNESCO |
| 11日 | 午前 | 未来を建設する市民 | UNICEF |
| | 午後 | 生態学 | UNESCO/UNEP |
| 12日 | | グローバルフォーラムの NGO 報告 | |

9. 地球サミット関連行事

(1) ジャパンデー

- 6月4日午後 リオ・シェラトンホテル
・我が国の環境保全の取組等が紹介された。

(2) 世界都市フォーラム

5月28～29日 クリチバ

・世界各国より 55 都市の参加の下、開催され「持続可能な開発に向けてのクリチバコミットメント」を採択した。

・我が国からは、7 都市（東京、大阪、福岡、北九州、熊本、姫路、越谷）から、計 28 名が出席し、各県・市の環境関係者等 30 名が、オブザーバー参加した。

(3) 国際環境技術博覧会

6月6日～12日 サンパウロ・アニエンビ展示会場

・世界 21 カ国 480 団体が、環境上健全な技術の出席を行なった。我が国からは、11 団体・企業が出展し、主催国以外では、ドイツについて、第 2 位の出展規模となった。

・期間中、延べ入場者数は、15 万人に上り、内外の要人も多数視察に訪れた。

(4) その他

・92 グローバル・フォーラム

UNCED の会期中、リオ市内フラメンゴ公園内の仮設会議場において、世界各国の NGO によるミーティング、シンポジウム、展示等種々の行事が開催された。

・先住民族世界会議

5月25日～30日、カリオカ

世界 28 カ国に所在する関連団体が集まり、「カリオカ宣言」および「先住民族地球憲章」を採択した。

質疑応答

Q: 高瀬（国際開発センター）

NGO と政府との関わりについてご説明いただけますか。

A: 地球サミットにおける NGO についての取扱は、積極的に NGO を取り入れるという対応です。とはいえ 150 以上の国から参加するわけでありますから、国連の肝入りでグローバルフォーラムという名前のイベントを政府間の会合に並行して同じリオデジャネイロ（会場は旧市街地の海岸沿いの地域）で行な

います。日本から行く新聞記者も 200～300 人登録されていますが、報道関係者の半分はおそらく NGO の活動に興味をもっていると思われます。NGO の活動は NGO 会場だけでなく NGO の代表のいくつかの団体が本会議場に入り、NGO の特別セッションが行なわれます。

日本政府も公式行事として Japan Day の行事を考えており、日本の経験などを理解してもらうための特別のシンポジウムを開こうとしています。日本の NGO の方でも Japan Day の行事として盆踊りなどのお祭り行事を計画しております。

地球環境とエネルギー[†]

内 嶋 善 兵 衛*

1. はしがき

地球 46 億年の歴史のなかで、現在は一つの激変の時代である。その特徴は、地球環境のなかで生み出された生物群の一員—人類による地球の過剰利用である。みずから力でも生み出した科学・技術を駆使して、人類は地球を自分たちだけの惑星に変化させようとしている。このため、古くからの仲間である多くの生物種が 33 億年の進化の歴史を閉じ、また閉じようとしている。

それは、地質時代に何回か生じ、多くの生物種を集団絶滅に導いた天変地異に勝るとも劣らない規模である。それゆえ、後世の古生物学者は、いま進行している生物種の絶滅を人為的な集団絶滅とよぶかもしれない。

この集団絶滅は 50 億を越す世界人口が、豊かで便利な生活のために、地球上のすべてのもの——現象・資源・生物——を自分たちだけのために独占的に使用することに起因している。例えば、現在人類は年間に炭素換算で約 60 億トンの化石燃料を消費している。この消費量は、地質時代に古い植物群が 100 万年をかけて蓄積した太陽エネルギーを 10 年で使い切るほどの速度である。

最近、地球環境問題が世界的にとり上げられているが、エネルギーの流れや利用の立場から、これを取りあつたものは少ない。そこで、本小論では地球そのもの、地球気候、生物・生態系、地球環境そして人類とエネルギーとの関係を簡単に説明する。

2. 地球と地球環境を作ったエネルギー

最近の惑星物理学・古生物学などの研究成果を参照すると、太陽系の一隅に地球が形成されたのは約 46 億年前で、その表面の原始的海洋層内に生命が誕生したのは約 33 億年前である。それ以来、長い時間のなかで、地球そのものも、地球環境も、そして生物も大きく変化しながら現在にいたっている。しかし、33 億年の長きにわたって生命を維持し、進化を可能にした環境条件が地表近くに存在し続けたことは不思議という他はない。

この不思議を一枚にまとめると、図 1 のようになる。

この図から、現在の地球環境および生物界が過去の様々な現象の積分結果であることが分かる。なかでも、光合成機能をもつラン藻やバクテリア類の長期にわたる活動によって、酸素大気が、そして成層圏オゾン層が形成された。これは太陽光の豊かな陸地を生物進化の舞台にかえ、現在の豊かな(?)生物圏への途を開くことになった。

実際の生物の歴史は図 1 のように単調な進化ではなく、天変地異という表現がぴったりとするような環境激変が何回となく生じ、その都度生命の糸が途絶えそうになったことが知られている。比較的多くの古生物学的資料の整っている過去約 5.6 億年の顕生代をみても、オルドビス紀末期、デボン紀中期、二疊紀末期、三疊紀中期、そして白亜紀末期と計 5 回の集団絶滅が知られている(ブディコほか, 1989; スタンレー, 1991)。

古くから、集団絶滅の原因については、生物種の衰退、他の生物との競争、餌となる生物群の減少や周辺環境の激変などが提出されてきた。しかし、最近では地球環境の激変をもたらした大規模な火山活動や小惑星の落下などに多くの注目が集まっている。これらの他にも、地球環境の変化・変動には多くの要因が関与したものである(表 1)。

少なくとも 1,000 年前までは、自然的要因のみによって地球環境は変動・変化したものである。これは地球外の宇宙的要因と地球内の要因とに分けることができる。宇宙的要因の太陽輝度の変化は $10^7 \sim 10^8$ 年という超長期現象である。地球上への太陽放射の入射量に変化をもたらす地球軌道の変動は $10^4 \sim 10^5$ 年の周期現象で氷期・間氷期の訪れに関係している。地球気候に激変をもたらす小惑星落下(直径 10 km)は、 10^6 年に 1 回の確率であるが、発生するエアロゾル気候破局は 10^9 年の現象である。これは地球的要因のなかの単発大規模火山活動によく似ている(ブディコほか, 1988)。

地球的要因のなかの造山運動・大陸の移動・水圏の出現・大規模火山活動は、固体地球内に発生する放射性元素の壊変熱によって駆動されている。火山活動を除いて $10^7 \sim 10^8$ 年という長い時間経過の現象である。造山活動と関連しての集中・長期的な大規模火山活動(たとえ

* お茶の水女子大学理学部

[†] 本稿は 1992 年 5 月 17 日に行なわれた公開特別講演会「地球サミット「国連環境開発会議」と地球環境研究の動向」の講演を書き改めたものである。

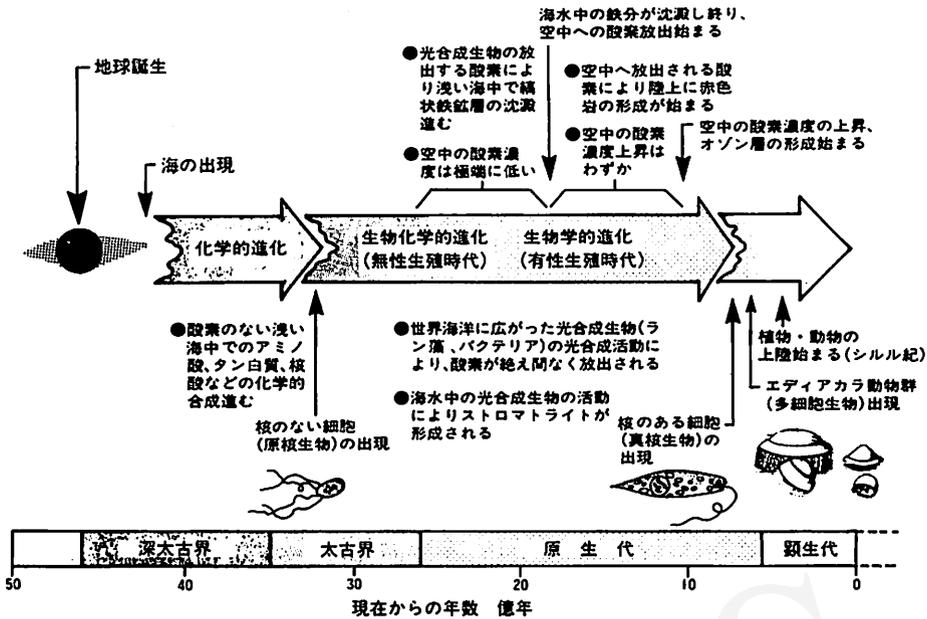
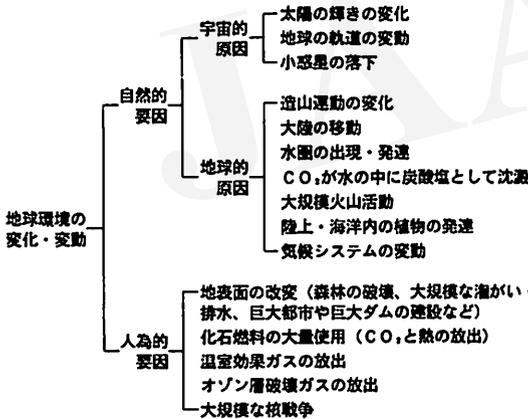


図1. 地球環境と生物の進化. (内嶋, 1990)

表1. 地球環境の変化・変動をひき起こす原因. (内嶋, 1990)



ば、デカン高原の形成など)は10⁹年の現象の連続として考えることができる。

これらの長周期の要因による固体地球と地球環境の変化は、入射する太陽エネルギーの下で10⁻¹~10⁹年の周期の変動・変化を反復している地球気候システムの動きに対しては、境界条件や初期条件として作用するものと思われる。それゆえ、非線型的な多くのむすびつきで組立てられている地球気候システムは、長い時間の歴史のなかでそれぞれ特有な動きを示し、時代・時代に個々の地球環境—気候を作り出したものと思われる。

しかしながら、約1,000年前、より厳密に言えば約2~3世紀前から、表1に示されている人為的起因の影響

が肥大してきた。そして、局地的には人間環境や自然環境をかなり破壊するようになってきた。それは急増する人口を扶養し、より豊かで便利な生活を確保するための自然資源の利用に起因している。

すなわち、広大な森林・草原の耕地化、大都市の建設、化石燃料の大量使用、それに伴う環境破壊物質の大量放出などである。これにより、自然的要因のみの作用で形成されていた地球環境は、いたる所できしみ、ほころび始めている。そのインパクトは、張本人の人類に止まらず、まったく関係のないほかの生物群さえも巻添えにしている。

上にあげた様々な変化・変動の本質的な原因はなんだろうか。よく知られているように、物質またはその状態の変化には必ずエネルギーの関与が不可欠である。地球上で環境と生物群に変化と進化をもたらしたエネルギーは、下のように分類・評価できる(小嶋, 1987; 内嶋, 1992)。

- i. 集積エネルギー 10.5×10²⁹ kcal
- ii. 位置エネルギー 4.2×10²⁸ "
- iii. 核分裂エネルギー 4.2×10²⁸ "
- iv. 太陽エネルギー 54.1×10²⁹ "

i は地球誕生時に集合した小惑星群の運動エネルギーの総量で、地球創世期にマグマオーシャンを形成させた。そのなかで、比重の大きい鉄・ニッケルが地球中心へと沈降し中心核が形成された。そのとき開放されたポテンシャルエネルギーが位置エネルギーである。これらの二

つのエネルギーは、地球の歴史の初期に、長波放射として宇宙へ流れ去っている。

一方、iii と iv のエネルギーは 46 億年間の積算値を表わしている。地球内にはウラン・トリウム・カリウムという長寿命の放射性元素（核種）が存在し、壊変しながらエネルギーを放出している。誕生以来、核種量は減少を続けているが、火山の活動や地殻熱流の存在をみると現在でも作用し続けている。1.5 億 km の距離にある太陽からの放射エネルギー総量は、 54.1×10^{29} kcal と四つのエネルギーのなかで最大である。そして、つぎに説明されるように、現在でも 13.3×10^{20} kcal が毎年入射し、地球気候システムを駆動し、地球生態系を扶養している。

3. 地球気候を形成・維持しているエネルギー

上の説明から分かるように、地球の誕生・進化には四つのエネルギーが作用してきた。その結果作られた地球場の上で、現時点で地球へ流入する太陽エネルギー（新鮮太陽エネルギー）によって地球気候が形成されている。この様子をモデル的に表わすと、図 2 のようになる。

図にみられるように、太陽は毎年 29.1×10^{29} kcal という、誕生以来 46 億年間に地球が受けとめた放射エネルギーの約 1/2 に相当する量を放射している。太陽から 1.5 億 km の距離にある惑星—地球は、その約 20 億分の一を受けとめるにすぎない。宇宙的にみれば極めて些細なこのエネルギー量が、水の惑星に生命を生み出し進化させているのは宇宙の不思議といえるだろう。大気層の空気分子・エアロゾル・雲粒などによる反射および吸収のため、地球表面へ入射するのは大気上端のその 1/2 の 6.8×10^{20} kcal にすぎない。

このエネルギーは、蒸発放熱・赤外放射放熱・顕熱放

熱・植物固定に配分されている。そして、海洋—陸地—大気からなる地球気候システムを駆動したあと、目に感じない赤外放射として宇宙へと流れ去っている。この過程で大気圏内に生ずる物理現象と物理化学現象が気象である。そして、そのある程度長い期間や広い空間についての集合が気候である。

図 2 のように、地球全体としてみると太陽エネルギーは、蒸発放熱 45.1%；赤外放熱 41.1%；顕熱放熱 13.7%；植物固定 0.1% と分配されている。熱分配の特徴を表わすボーエン比（＝顕熱放熱/蒸発放熱）は 0.30 となり、惑星地球の気候が、生命とくに植物の生存にとって好都合なことを示している。

多くの気候研究から知られているように、入射太陽エネルギー量は緯度・雲量・海洋からの距離・地形条件などによって大幅に変化する（例えば、ブディコ、1987）。それゆえ、図 2 に示した太陽エネルギー配分特徴は、地域によって大幅に変化するだろう。地球熱収支データから求めたエネルギー配分項の緯度帯平均値の変化が図 3 に示されている。

地球表面での気象現象の主たるエネルギー源である純放射（ $= (1 - \delta) S_t - F$ 、 δ はアルベド（0.0~1.0）、 S_t は全日射、 F は有効長波放射）は低緯度帯で最大で、高い緯度帯へ移行するにつれ急減している。陸地と海洋での純放射の違いは、アルベドと有効長波放射量との差のためである。一般に陸地（裸地と植生を含めて）のアルベドは海洋面より大きく、吸収日射量は海洋面が大きい。また、温度の絶対値と空中湿度に関係する有効長波放射は、海洋面の方が陸地より小さいので、純放射量は、海洋面 > 陸地面となる。

陸地の蒸発放熱は熱帯収束帯（ITCZ）の発達する赤道帯でピークになり、両半球の亜熱帯域で急減している。これとは逆に、顕熱放熱は赤道域で深い谷と亜熱帯高気圧帯で明瞭なピークをもっている。それは陸地のボーエ

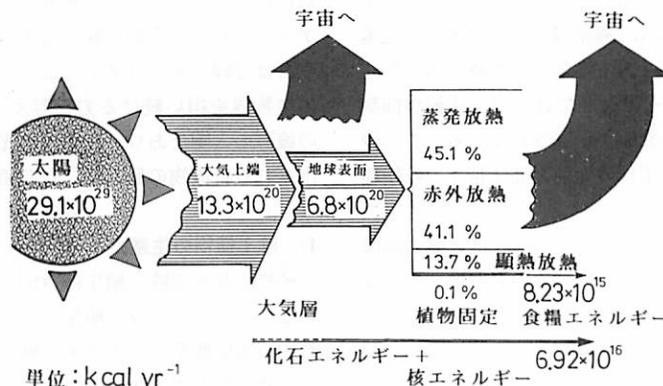


図 2. 太陽—地球—生物システムにおけるエネルギーの流れ。 (内嶋, 1992a, b)

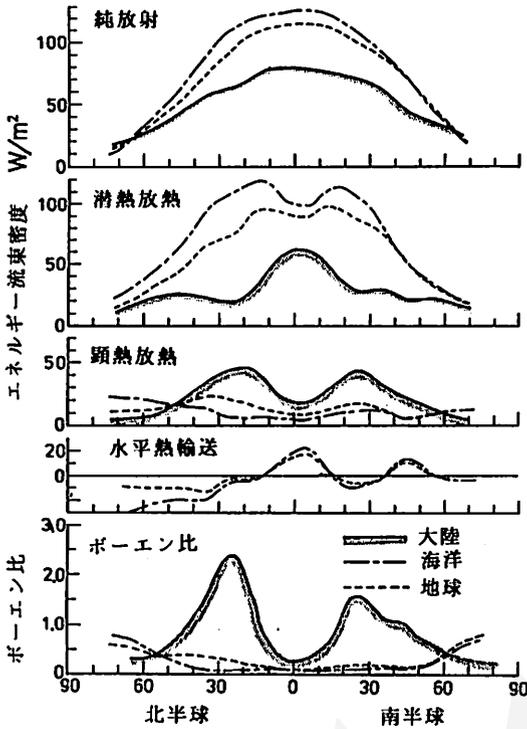


図3. 地表面の熱収支成分の緯度分布.
(ブディコ, 1987より作成)

ン比の緯度変化によく反映されている。亜熱帯高圧帯のポーン比は1.5以上と著しく乾いている。しかし、降水の多い赤道域と中緯度帯以北では0.5以下で、気候は多湿で植生の発達に好都合である。

このような太陽エネルギー配分の特徴は、地球上での太陽エネルギー分布の不均一さ・それによる大規模な大気と海洋の流れの誘発・地球自転の影響によって形成される。それをモデル的に表わすと図4のようになる。図4から明らかなように、地球上に形成される大きな循環の相互作用によって上昇気流が定常的に形成される地帯(ハドレー循環間, フェレル/極循環間)には多雨—低蒸発域が形成されている。一方、定常的な沈降水流の形成されるフェレル/ハドレー循環間では、対流活動が抑制されるので、少雨—高蒸発域が形成されている。この少雨—高蒸発域は、南北両半球の亜熱帯高圧帯下の乾燥地帯に対応している。

図4は、両半球の乾燥地帯がグローバルな大気循環に関係しており、沙漠・半沙漠の発生の必然性とその緑化の困難性を示している。

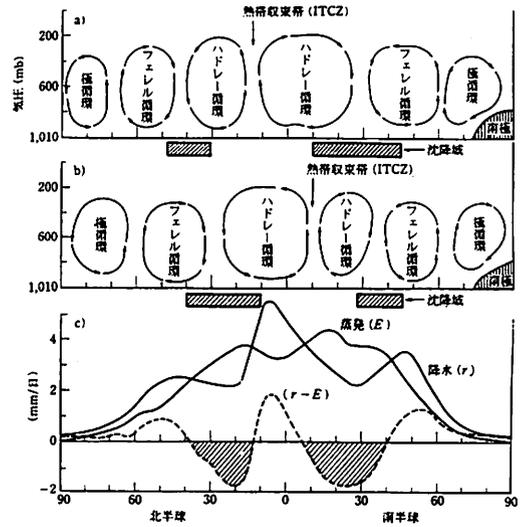


図4. 地球上の大気循環と降水・蒸発の緯度分布.
(浅井, 1981; NEWELL *et al.*, 1972; LOUIS, 1974より作成)

4. 生態系を扶養するエネルギー

図2に示したように、陸上と海中の緑色植物群によって毎年乾物内へ固定される太陽エネルギー量は、地球表面へ入射する太陽エネルギー量の0.1% ($\approx 7 \times 10^{17}$ kcal) にすぎない。このエネルギー量は独立栄養生物である植物自身および植物に依存している従属栄養生物を含めて、地球上の全生物の生存の基である。このスキームは約33億年前に光合成機能をもつラン藻類や光合成細菌が生まれてからずっと受け継がられており、今後も続くものと思われる。

すなわち、光合成を営む植物群は全生物の生存と進化とを33億年前から現在まで、そして未来へと、その双肩に担っていくだろう。それゆえ、ギリシャ神話の巨人アトラスが天空を担い続けるという話にあやかって、植物群は『緑のアトラス』とよばれる。この緑のアトラスに生物界を担い続ける力を与えているのは、1.5億kmの彼方の太陽であり、その力は光合成作用によって作り出される有機物の量、すなわち植物生産量である。

1) 陸上植物の生産力

植物のなかで陸上植生は特別に重要な役割を果たしている。すなわち、陸上植生の生産力は、その上に形成されている生態系の大きさ・活動度・複雑さを決定しており、すぐあとで説明するように人類のための食糧・木材資源の生産を担っている。それゆえ、陸上植生の乾物生

産一純一次生産力 (NPP, t 乾物/(ha・年)) は古くから生産生態学における重要な研究対象であった。多くの手法が工夫されているが、国際生物学研究計画 (IBP, 1964~1974) による基礎資料の整備を契機として確度の高い気候学的評価法が開発されるようになった。

著者ら (UCHIJIMA AND SEINO, 1985) は、植生と大気との間における水蒸気と二酸化炭素の交換過程の同時的考察にもとづいて、IBP データを解析して下のような半経験的評価法 (筑後モデル) を開発した。

$$NPP = 0.29[\exp(-0.216RDI^2)]R_n$$

ここで $RDI(=R_n/lr)$ は放射乾燥度

R_n は年間純放射量 (kcal/cm²)

r は年間降水量 (cm)

l は蒸発の潜熱 (kcal/g)

ほかの手法で評価した NPP データとの比較から、筑後モデルは現在までに提出されている気候学的方法に勝るとも劣らぬ確度であることが分かった (UCHIJIMA AND SEINO, 1988; OHTA *et al.*, 1993)。

全世界 1,143 観測所の気候データを上式で処理して求めた NPP 分布が図 5 に示されている。この図は陸地が植生によって覆われているという前提、すなわち人類による土地利用を無視して作成されている。この図から次のような三つの結論が得られる。

- i. シベリア・カナダの高緯度地帯には、主として低温・低日射による低 NPP 地帯が広がっている、
- ii. 両半球の亜熱帯高圧帯とユーラシア大陸内部に

は、多照・乾燥による低 NPP 地域が分布している、

- iii. 10 t/(ha・yr) 以上の高生産力地域は意外と狭く、全陸地の約 37% にすぎず、その多くは農業に使用されている。

これから、人類は自然条件の準備した高い植物生産力を、作物と家畜を用いて食糧として収穫しているといえる。そして、高生産力地帯の多くは、有史以前 (主に旧大陸) そして 200~300 年前 (主に新大陸) から農業に利用されてきた。一方、残された高生産力地帯 (アマゾン流域、中央アフリカ、インドネシア島嶼) は気候・土壌・病害虫などの面からみて中緯度帯の広大な穀倉地帯のようにはなりえないと考えられている。それゆえ、爆発する人口 (2050 年に約 100 億) をひかえて、人類の生存エネルギーの獲得は重大な問題になるだろう。

図 5 に示したデータおよび土地利用データを用いると、陸地のポテンシャルな純一次生産量 (TNP₀, t 乾物/年) と実際の純一次生産量 (TNP_a, t 乾物/年) を評価できる (内嶋, 1992; SEINO AND UCHIJIMA, 1992)。

日本	{	TNP ₀ = 5.02 × 10 ⁸
		TNP _a = 3.74 × 10 ⁸
世界	{	TNP ₀ = 1360 × 10 ⁸
		TNP _a = 820 × 10 ⁸

この数値から分かるように、人類の土地利用は、緑のアトラスの力、すなわち陸上植生の純生産量を可能最大値の 60~70% までに低下させている。このことは、人類はいざ知らず、他の生物群にとっての地球の扶養能力

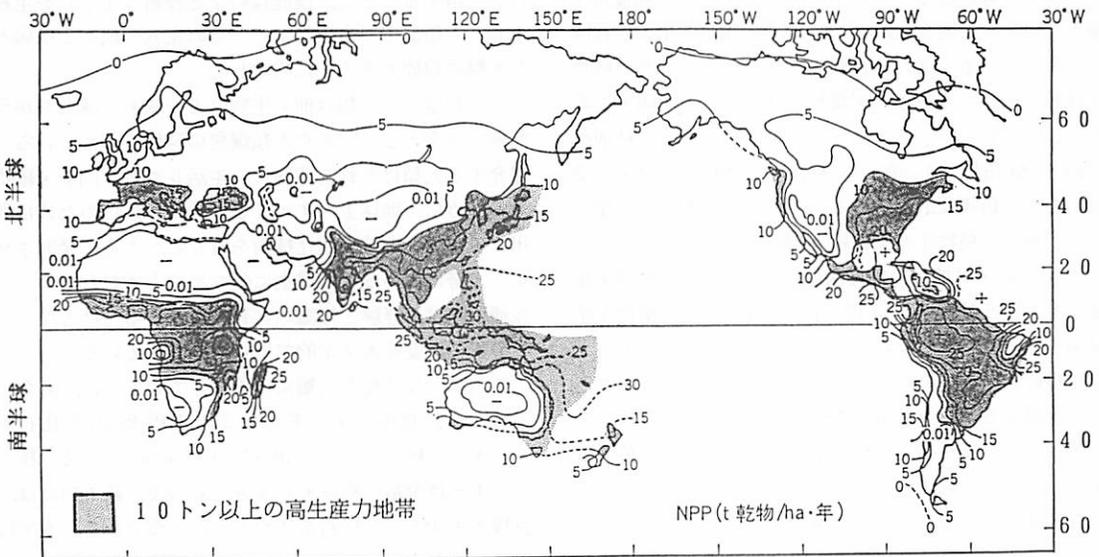


図 5. 自然植生の純一次生産力の分布。(UCHIJIMA AND SEINO, 1988)

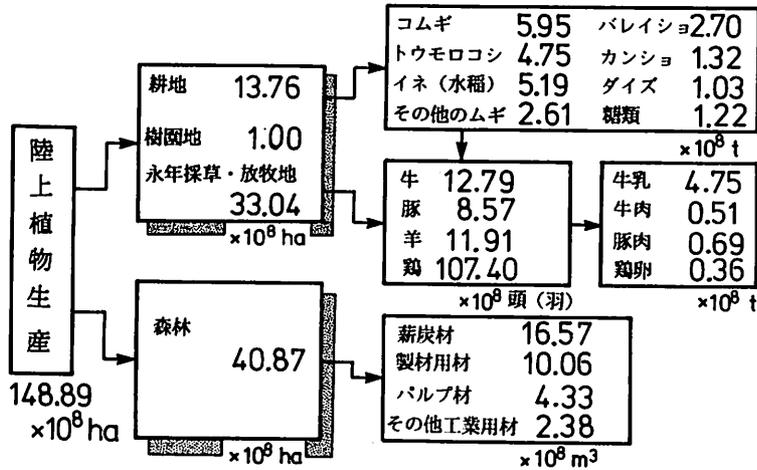


図6. 人類による土地と生物生産物の利用。(FAO, 1990より作成)

が大幅に減少していることを物語っている。しかも、森林や草原は多くの生物にとっての安全な生棲地でもあるので、ほかの生物たちは生棲地の縮小と生存エネルギーの減少という二つのパンチを受け、衰退→絶滅の途を急がされているといえるだろう。

2) 人類の生存エネルギー

では、上に示した可能最大値の60~70%までに低下したと思われる陸地の純生産量から人類はどれくらいの生産物を独占的に収穫しているのだろうか。図2に示したように、55億の人類は現在8.23×10¹⁵ kcalの食糧エネルギーを獲得し利用している。この様子をより正確に表わすと図6のようになる。

地球上の陸地面積の約1/3(耕地13.9億ha、樹園地1億ha、放牧・草地33億ha)を用いて、約25億tの食糧を生産している。また、食糧の一部と放牧・草地の植物生産量で多数の家畜類・家禽類を養って、肉・卵・牛乳約6.3億tを生産している。その他、41億haの林地から約33億m³(≒15億t)の林産物を燃料・用材・工業原料として毎年採取している。それゆえ、現在、人類の毎年収穫する植物生産量は約40億tに達する。

いま、耕・林地での収穫係数(=経済収量/乾物生産量)を0.5と仮定し、33億haの放牧・草地の植物生産量を100億t/年と考えると、人類が生存エネルギーと有用林産物の獲得のために、他の生物群を排除して独占的に収穫する植物生産量は180億tになる。これは上で説明した陸上植物の実純生産量の約20%という莫大な量である。

近未来に予想される人口の爆発と生活水準の上昇は、生存エネルギーをめぐる人類と他生物との間の競合をさらに激化させるだろう。そして、人類との競合にな

に一つ有効な武器をもたない他の生物たちは、生存エネルギー獲得において絶対的に不利な立場に追い込まれることは必定である。それゆえ、他の生物群と人類との持続的共生のための特別な考慮と管理とがなされないかぎり、地球上の他の生物群は遅かれ早かれ激滅し、壮大な人為的な集団絶滅へと連なっていくだろう。

5. 地球環境を破壊し生物を減らすエネルギー

約300万年前、地球上に出現した人類は、その並外れた脳の力を利用して、数千年前に言葉と文字を発明した。これによって、時間と距離のバリアーを越え、個々の経験と知識を交換し蓄積することが可能となった。これを活用することで、技能は科学と技術(工学)を生み出し、人類誕生以来の好ましからぬ友人—飢えと疾病とを大幅に追放することに成功した。

このお蔭で、人類は他の生物群と一味も二味もちがう段階へと突入し、いまや人類爆発の時代を迎えている。爆発する人類はそれを扶養し、生活レベルを向上・維持するために、地球上のすべてを自分たちだけのために利用する技術—地球資源化技術を確立し、さらに発展させようと努めている。地球上に張りめぐらされたグローバル通信網は、経験と知識の共有を促進するだけでなく、その集積速度を天文学的な桁までに高めている。

このような活動を人類に可能にしているのは、図2にあるように食糧エネルギー(8.23×10¹⁵ kcal)と化石エネルギー+核エネルギー(6.92×10¹⁶ kcal)である。核エネルギーは全量の約5%にすぎないので、基本的には、食糧エネルギーと化石エネルギーの二つである。すでに指摘したように、食糧エネルギーは新鮮太陽エネルギーであり、化石エネルギーは化石太陽エネルギーである。

表2. 地球規模の環境変化の主な原因とインパクト. (内嶋, 1990)

現象	主な原因	主なインパクト
大気の大気効果増大による気候の温暖化	<ul style="list-style-type: none"> 年間200億トン以上のCO₂の放出 年間100万トン以上のフロンガスの放出 メタンガスの放出の増大 その他の温室効果ガスの放出 土壌有機物・バイオマス分解の促進 	<ul style="list-style-type: none"> 600ppmで3.0±1.5℃の気温上昇予想 植生及び農業地帯の分布の変化 中緯度地帯で干ばつ激化 海水位の上昇 植生の生産力の変化
酸性雨の広がりや深化による植生と生態系の破壊	<ul style="list-style-type: none"> 硫酸酸化物の放出 窒素酸化物の放出 	<ul style="list-style-type: none"> 林地植生の衰退進行 河川・土壌の酸性化進行 湖沼の生態系の崩壊 耕地の生産力の低下 建造物の腐蝕の進行
成層圏のオゾン層の破壊による地表への極短紫外線入射の増加	<ul style="list-style-type: none"> フロンガスの生産と放出 農業肥料の増産によるN₂Oガスの放出増大 	<ul style="list-style-type: none"> 極短紫外線によるDNA損傷の増加 植物・動物における突然変異の増加 人間の皮膚がん発生の増加 植物生産力の低下
砂漠化の進行・強化	<ul style="list-style-type: none"> 人口爆発 林野の過剰開発 耕地の誤った使用 耕地の過剰使用 気候の変化 	<ul style="list-style-type: none"> 土地生産力の低下 地域の生物扶養能力の低下 林・野、耕地の破壊・放棄 地域気候環境の劣化 生物遺伝資源の劣化

人類は太陽に起源するこの二つの時間差エネルギーを用いて、地球資源化技術を確認し、地球を人類のためだけの惑星に改造しようと努めている。しかも、近未来の人口爆発と生活水準向上への欲求は、地球資源化技術のさらなる発展と強度な適用をもたらすだろう。これは、とりもなおさず、①新鮮太陽エネルギーと②化石太陽エネルギーの使用の爆発的な拡大を意味している。

人類による新鮮太陽エネルギー利用の拡大は、他生物群にとっての地球の扶養能力の低下を意味している。また、化石太陽エネルギー利用の拡大は、利用過程で生産・排出される多様な環境汚染・破壊物質の増大をもたらすだけでなく、原地球環境の改変の速度とスケールとを極大化させる可能性をもっている。これは、他生物を排除して進められるもので、これまた地球の生物扶養能力の低下をもたらすに違いない。

しかも、化石・新鮮の両太陽エネルギーの巨大使用は、地球気候システムの挙動に重大な影響をもたらす大気化学組成（温室効果ガス濃度の上昇）と地表の物理的性質の改変を地球スケールで引き起こしている。それをまとめると表2のようになる。表2のように、両太陽エネルギーの使用によって、四つの巨大な地球規模の環境

今後どうなる

! ?

今後どうする

今後どう生きる

物質的欲望の総量規制

持続的共生

図7. 持続的共生への途。

変化が進行している。成層圏オゾン層の破壊ガスの生産・使用禁止にみられるように、世界的な努力もあるが、好転の兆しはない。逆に持続的発展 (sustainable development) という新しい旗印の下で、両太陽エネルギー利用の拡大と地球規模の環境破壊、そして他生物群の圧迫の強化へと、さらにつき進もうとしている。

すでに指摘したように、地球誕生以来46億年を通じて、四大エネルギーによる化学的・物理的・生物的变化過程で準備された地球環境そして資源は、人類を含めて全生物の生存・進化のための欠くことのできないベースである。しかし、人類だけの利益を考える持続的発展の行くさきには、多くの他の生物が絶滅したコンクリートジャングル内に満ちあふれる人類の姿が浮かんでくる。

いま、人類は現在までの地球資源化技術路線をひた走って人間だけの惑星—地球を作るのか、または、新しい地球・自然観そして倫理に支えられて、地球と他生物と人類との持続的共生 (sustainable symbiosis) の地球へ移行するのかの決定的な岐路にさしかかっている。

この岐路を上首尾に通過するには、46億年の歴史をもつ地球と33億年の歴史をもつ生物群の働きによって我々人類は生かされていることを理解し、地球と生物群とを限りなくとおしむ心根が重要である。すなわち、人類の地球の主人ではなく、太陽と地球の準備した資源(物質とエネルギー)によって生かされている居候にすぎないことを科学的にも心情的にも理解することが大切である。

その第一歩は、いま人類が用いている新鮮太陽エネルギー(植物生産量)と化石太陽エネルギー(化石燃料)の効率の利用と節約であろう。これをモデル的に表わすと図7のようになる。現在、日一日と地球環境に関する情報量は多くなり、その確度は増している。そして、人類のエネルギー使用による地球環境と生物圏の変化についても、これからどうなるかをかなり予想できるようになっている。今後重要なことは、この劣化する地球環境と生物圏をこれからどうするかと考えることである。

この劣化が人類による地球とエネルギーの過剰利用に

あることを思うと、これからどうするかは、当然 55 億の人類がこれからどう生きるかにつながってくる。その一つの重要な答えは、人類のエネルギー使用量の抑制、すなわち物質的欲望の総量規制であろう。これは大変に困難な課題で、解決には多大な犠牲を強いられると思われるが、この課題を解決してこそ、持続的共生への途も開けてくると思われる。

引用文献

- 浅井富雄 (1981): 『大気科学講座 (2)』 東京大学出版会。
 ブディコ, M. I. (内嶋訳) (1987): 『生物圏の進化』 農林水産技術会議事務局。
 ブディコ, M. I.・ゴリツィン, G. S.・イズラエル, Yu, A. (内嶋訳) (1989): 『エアロゾルによる地球的な気候破局』 学会出版センター。
 ブディコ, M. I.・ローノフ, A. B.・ヤンシン, L. (内嶋訳) (1989): 『地球大気の世界』 朝倉書店。
 FAO (1990): *Production Year Book*. FAO.
 ジャクソン, I. J. (内嶋監訳) (1991): 『熱帯を知る/21 世紀の地球環境』 丸善, 257-280。
 小嶋 稔 (1987): 『地球史入門』 岩波書店。
 Louis, J. F. (1974): Mean meridional circulation. In *USDP-CIAP Monograph 1*: 6-21.
 NEWELL, R. E., KIDON, J. W., VINCENT, D. G. AND BOER, G. J. (1972): *The general circulation of the tropical atmosphere and interactions with extratropical latitudes*. The MIT Press.
 OHTA, S., UCHIJIMA, Z. AND OHSHIMA, Y. (1993): Probable effects of CO₂-induced climatic change on net primary productivity of natural vegetation in the monsoon East Asia. *Ecological Res.*, 8.
 SEINO, H. AND UCHIJIMA, Z. (1992): Global distribution of net primary productivity of terrestrial vegetation. *J. Agr. Met.*, 48: 39-48.
 スタンレー, S. M. (長谷川・清水訳) (1991): 『生物と大絶滅』 東京化学同人。
 内嶋普兵衛 (1990): 『ゆらぐ地球環境』 合同出版。
 内嶋普兵衛 (1992): 地球環境変化と農林業。『地球環境の回復・保全における農林業の役割』 シンポジウム・プロシーディングス, 日本学術会議 IGBP 委員会。
 UCHIJIMA, Z. (1992): Global environment and plant production. *Proceedings of Bio-Japan '92*: 246-254.
 UCHIJIMA, Z. AND SEINO, H. (1985): Agroclimatic evaluation of net primary productivity of natural vegetation (I) Chikugo model for evaluating net primary productivity. *J. Agr. Met.*, 40: 343-352.
 UCHIJIMA, Z. AND SEINO, H. (1988): An agroclimatic method of estimating net primary productivity of natural vegetation. *JARQ*, 21: 244-250.

Global Environment and Energy

Zenbei UCHIJIMA*

Throughout the history of the Earth, the present is thought to be a crucial time facing all living organisms. This is caused mainly by the overuse of the Earth with Man. Man intends to convert the Earth into a planet for Man only, using sophisticated science, various technologies, and huge amount of energy. The overuse of the Earth gives rise to substantial changes in the environments in which Man and all other species live and in the ecosystems that sustain us. In this report, interactions between energy and environments are analyzed from the four standpoints such as 1) energy that created and evolved the Earth, 2) energy that drives the global climate systems, 3) energy that supports the global ecosystems, 4) energy that exerts crucial influences upon the global environment and global biosphere. The dramatic changes in the environments and the ecosystems are principally owing to an uncurbed growth in human population and economic activity. These processes are based on the massive use of resources, particularly fossil (solar) energy. We are consuming fossil fuels of 6 billion carbon equivalent ton on a yearly basis. This consumption corresponds roughly to the amount of solar energy absorbed and fixed by ancient plants during a period of hundred thousand years. We are also utilizing one third of land surface of the Earth to produce foods and feeds. Furthermore forests land of 4 billion hectares is used to obtain timbers for fuel, construction, and industry. The monopolistic use of land and bioresources with Man should cause necessarily the reduction in the carrying capacity of the Earth for wild organisms. The loss of biodiversity as observed around the world is thought to be an obvious indication for such a decrease in the carrying capacity. This tendency should be intensified by an uncurbed growth in human population, and consequently in economic activity. To evade such an anthropogenic crisis of the global biosphere to be predicted in the next century, it is needed to convert the leading principle of human society from the sustainable development into the sustainable symbiosis between the Earth, Man, and other living organisms.

* Faculty of Science, Ochanomizu University, Otsuka 2-1-1, Bunkyo-Ku, Tokyo, 112 Japan.

質疑応答

Q: 松本 聡 (東京大学)

地球の1/3は乾燥地であり、その乾燥地を緑化するというのはエネルギー的にも資金的にも大変なことです。植生地のエネルギー収支をみると、バイオマス形成に使われるエネルギー量は意外に小さいので、地球陸地の1/3の乾燥地を緑化してもそれほど大きく熱収支を攪乱するほどのものではないか、と思うがいかなるものでしょうか。

A: 植生が発達するか否かは、その土地の太陽エネルギー量と水分補給度の二つによって大きく支配されていると言ってよい。そこから考えると、地球上に沙漠が存在するのは、大気大循環の性質のためにひじょうに定常的に下降気流の発達する南北20°帯を中心とする亜熱帯高圧帯と、もう一つはヒマラヤやロッキー・アンデス山脈などの大きな山脈のために多湿な空気が大陸の内部に入り込まない所です。内陸型の沙漠帯などの地域で本当の意味で植生帯を作り出すには、ものすごい量の水が必要であると思われまます。というのは、沙漠の日射量がたいへん多いためです。たとえば、日本で160 W/m²、すなわち年間100 kcal/cm²/yで東京が105 kcal位であります。そうするとサハラ沙漠は、ほぼ2倍の量になっています。

2倍の量ということは、そこに植生を植えると、多大な蒸発量があるということであり、そういうところで森林植生帯を作るということは、ある意味で人工的に可能であるかどうかの問題があります。また、そこに森林を維持するためには大きなエネルギーを投入して水をもっていかなければいけない、という問題があります。

そういう意味でいくと、そのような沙漠に植生を作った場合に地球の気候がどう変わるか、という問題の指摘ですが、たとえばアマゾンを切り開いて森林をまったくとってしまったという数値実験はいくつかなされていて、かなり地球の気候に変化を与えるという結果が得られています。ですから広い沙漠地の非常に広大な面積に森林を作った場合には、若干の変化が起きるでありましょう。それが、どこにどう起きてくるかは現在のシュミレーション技術ではまだ確かな結論を得るまでには至っていません。

ただもう一つ重要なことは、ここで小規模に植生を広げていく、べつ地域でも広げていくということは可能であろうと思いますが、大規模にマクロスケールでやるためには非常に大きなエネルギーの投入が必要であろうということです。もしそれを展開すると、また地球環境の崩壊をひき起こしかねないということで、果たしてそれが良いのかどうかについては、私自身判断がつきません。

人間と自然の共存への提言

——原始的な生活をしているアフリカの村人から学ぶ——†

サンガ・ンゴイ・カザディ*

1. はじめに

昔から人類の文明と森林伐採は農業、牧畜、町づくりなどあらゆる理由で関連づけられてきました。そして文明や文化が発達してくればくるほど、森林もだんだん破壊され、現在の地球的な環境問題になりました。

ここで注目したいのは、古代の人たち、もしくは現代においてまだ非常に原始的な生活をしている人たちは、毎日の生活のために自然や森林に依存し、適応し、できるだけこれらを保存して、自然や森林と共に生きよう、共生しようとしてきたということです(ERASMUS, 1990)。しかしながらだんだんと開発が進んでいくと、この開発のプロセスがまさに自然破壊に対しての主たる原因となっていくのも事実です。なぜなら人間が生態系から切り離され、そして近辺の自然や森から独立した生産・生活方法をつくりはじめのからです(TISDELL, 1989)。その結果今日において、文明と森林破壊の関係は、先進国ではすでにおこってしまった森林減少、また一方途上国では現在進行中のきわめて速度の早い森林破壊という形であられます(サンガ, 1992a)。

それと同時に現代文明は、様々な先端技術を次々と開発し、人間の生活にも考え方にも、強く影響を与え、過剰生産・消費の文明となりました。今や、地球の能力で自然にリサイクルすることができないほど膨大な消費物、たくさんの新しい物質がゴミ、廃棄物として汚染を生み出すという悲惨な結果となっています。

その範囲は、深い海から高度の高い大気圏にまでと広大です。膨大なゴミ、大気・水・土の汚染、酸性雨、オゾン層の破壊、自然・森林の破壊、砂漠化など。これらの現象は地球規模のものであり、国境がありません(Sci. Am. Special Issue, 1989; CAVE, 1990; UTAN 編集部, 1991; UNDP ANNUAL REPORT, 1991)。

最近、この地球規模の環境破壊は様々な分野の研究者、政治家などから注目を浴びています。生命を持つこの地球(GAIA)を守るために、これからどうすればよい

のかという課題で、1992年6月にブラジルのリオで、地球サミットが行なわれ、21世紀へ向けての開発・環境の国際的な概論(リオ宣言・AGENDA 21)が発表されました。環境破壊は、過剰生産・消費をベースとした近代的開発の結果だということが明らかになりました(BOYD, 1992)。

私は、世界規模のこの地球サミットに二つの深い意味があると思います。まず一つは、環境問題については、どうしても地球規模の国際協力(政府・個人・団体・研究者・金融機関など)によって解決しなければならないということ。そしてもう一つは、その解決方法は、決められたただ一つの方法だけではないということです。今まで無視されてきた西洋的ではない発想も参考にして、それぞれの地域的な環境に土着した文化の中から、発展・開発・人間と自然の共存のための優しい関係を考え直すべきでしょう。

本論は、開発と森林——特に熱帯雨林——伐採の問題を中心に、地球環境破壊と開発についての理解を深めるための手助けとなることを目的としています。世界の森林の現状はじめ、熱帯雨林の地球環境システムへの役割と伐採の結果をまとめ、これからこの環境システムの回復・保全問題にまで言及していきます。

また、リオ宣言とAGENDA 21を参考にして、まだまだ自然と共存して生活している、中部アフリカの村人の環境管理に対する伝統的な知恵から、学べるべきものを探り、これからの環境・開発の新しいパラダイムを論じてみたいと思います。

2. 熱帯雨林の現状

ルネッサンス時代以降、世界において、特に農業、産業、都市計画、通信網などに劇的な変化がありました。その結果として、広範囲な森林が最初は西ヨーロッパで、そののちには世界各地でも伐採されてきたわけです。

アメリカ合衆国の場合は、1630年に約385万km²の

* 創価大学アフリカ研究センター、現、三重大学教育学部地学教室

† 本稿は1992年5月17日に行なわれた公開特別講演『地球サミット「国連環境開発会議」と地球環境研究の動向』の講演を書き改めたものである。

森林が、西の方への投資開発によって伐採され、1920年に249万 km² になりました。今も開発によって、毎年古い原生森林のうち約3万ヘクタールが伐採され、日本その他の太平洋沿岸諸国に輸出されています。同じことがヨーロッパについてもいえます。一時は国土の80%が森林によって覆われていたフランスは、1789年になると、森林は国土のたった14%の状態になりました。その結果19世紀半ばには、森林資源の不足が特にフランス、英国において深刻になりました。この2国は当時海運国として、自国を繁栄させるため、造船用の木材を必要とし、どうしても海外から特に熱帯雨林地帯から木材を輸入しなくてはならないということになりました (POSTEL AND HEISE, 1988)。

ICIHI REPORT (1986) のレポートによると、熱帯雨林は、現在地球の6%、約3,000万 km² の面積を占めています (Fig. 1)。これは、熱帯地域の国々の約2/3の面積となります。この3,000万 km² のうち、1,200万 km² は、熱帯・高温・多雨の原生林となっています。ここには、まだ知られていない、数えられないぐらいの生物(植物・動物・虫・微生物など)が棲息しています。以前は少数民族が自然とバランスをとって住んでいましたが、最近では人間の活動によって急激な伐採が行なわれてきました。また約1,400万 km² はサバンナ・ウッドランド(アフリカではサバンナ、南米ではセラードという)となっていますが、この地域には多くの人々が住み残り、昔から農業活動や家畜を飼うことによって生活してきました。残りの400万 km² は、焼畑農業や火事や他の人間活動で最近伐採された森林で、現在、回復中または破壊されたままファローランド (fallow land, 休耕地) となっています (Table 1)。

これらの熱帯雨林は、年間当たりその約0.6%から1%という、早い速度で伐採されています。その結果として、80年代においては、毎年こうした森林の1,130万ヘクタールが伐採され、それに対して植林のほうはたった110万ヘクタールでした (Table 1)。およそ、平均的に、1対10という比率です。この数字は地域によって大きい差があります。アジアでは1対5で、アフリカでは1対29の比率になっています (POSTEL AND HEISE, 1988)。

この激しい伐採・破壊の原因は何でしょうか。大きくまとめますと二つあります：(1)個人のレベルで、村人の日常生活のため(焼畑農業・燃料・山焼き・火事など)(2)国、政府のレベルでは、必要な外貨を入手するため(木材・農地・プランテーションなど)、また国づくり政策(町・道づくり・ダムなど)のため。

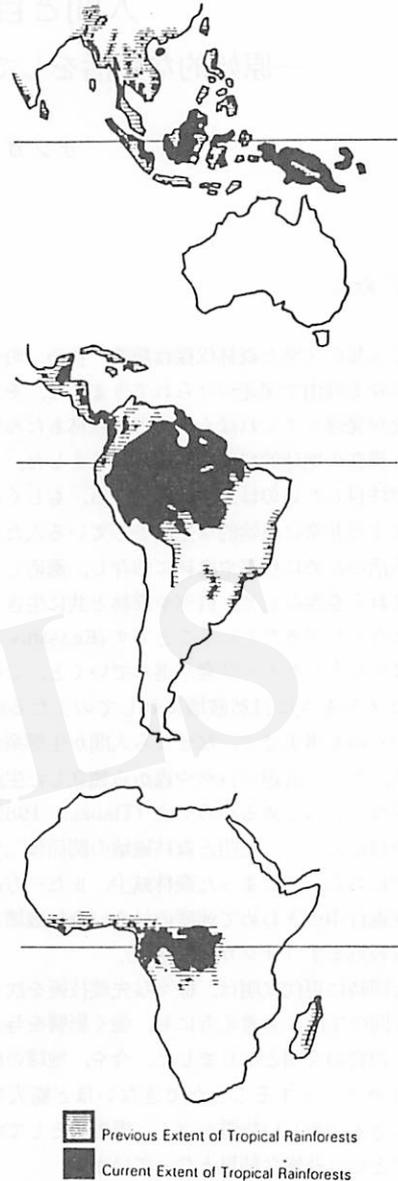


Fig. 1. Tropical rainforests in the world. (NECTOUX AND KURODA, 1989)

(1) 木材

熱帯地域の木材会社による「森林開発」は、ほとんど、輸出のためにできるだけ多くの資源を流出し、外貨を入手することであります。このような現状では森林管理、植林プログラムへの資金やコーディネーション不足のため、熱帯のエコシステムへの影響がきわめて大きくならざるを得ません。現在、熱帯地域には、本格的に継続的な「森林開発」が行なわれている所は、ほとんど見あたりません (NECTOUX AND KURODA, 1989; KEITO *et al.*,

Table 1. The state of the tropical rainforests in the world.

	Countries	Total cover (million ha)	Closed forests (million ha)	Depl. rate (million ha/year)
Asia	16	336.5	305.5	1.82
Latin America	23	895.7	678.7	4.12
Africa	37	703.1	216.6	1.33

(Adapted from NECTOUX AND KURODA, 1989)

1990). 伐採するにつれ、小さい木やほかの植物が犠牲になったり、木材を運ぶため、重畳のある車両が上を走ることによって、土壌の圧縮や、流出が起こります。また、道路などの建設によって、農民が森のより奥まで進入することができるようになり、今度は生活のために焼畑農業や放牧による森林伐採を行ないます (FEARNSIDE, 1989)。最近のデータによりますと、こうして熱帯雨林の700万から1,200万ヘクタールが毎年失われていています (POSTEL AND HEISE, 1988)。

(2) 焼畑農業と燃料

昔から、熱帯地域の森林やサバンナに住む人々は、伝統的に、また生活のために焼畑農業をしてきました。これはきわめて小規模で、ファロー (fallow) 期間は長く (その地域の文化や環境状況によって、8~80年)、自然の回復に十分な余裕を与えていました (WIERSUM *et al.*, 1985; HOUGHTON *et al.*, 1987)。

近代化とともに、ライフスタイルと生産技術が変わり、貨幣社会になったころ、地域には新しい形の人間・自然関係が生み出されました (ICHIHI REPORT, 1986)。田舎に住む、国の人口の70~90%や、まだまだ完全に近代化 (電気・ガス・道路・職場など) されていない都市に密集してくる人々は、薪を燃料として使い、大規模でファロー期間の短い (3~8年以下) 焼畑農業で生活しています (HOUGHTON *et al.*, 1987)。その結果、特に都市近辺の森林が速いスピードで姿を消していきます。

こういった現象がアフリカの70%、アジアの50%と中南米の30%の森林伐採の原因となっています (POSTEL AND HEISE, 1988)。

(3) 山焼きと火事

あまり知られていない熱帯雨林の減少の一つの大きな原因は、山焼きや火事です。原因は様々ですが、自然現象 (雷) もあれば、人間活動や悪意の火事も多いのです。昔から、乾期が終わろうとする時期に、村人が枯れたサバンナに火をつけて、雨期の最初の雨と一緒に、家畜に食べやすい草がでてくるよう、このような習慣が伝えられてきました。

現在アマゾン地域は、町、道路や牧場工事、焼畑農業の準備のために、必要以上に森を焼いてしまう場合が多く、森林破壊をおこしています (LINDEN, 1989)。雨の多いハイチやドミニクという国々は長年繰り返した火事のため、今ほとんどサバンナになってしまいました。

インドネシアの東カリマンタンでは、1983~84年に、大火事で35,000 km²の森林が焼失しました (ICHIHI REPORT, 1986)。

自然の森がほとんど無くなっているアフリカのブルディ共和国では、私自身が研究調査していた1992年9月に、3週間にわたり各地で山火事が起こり、約1万ヘクタールの植林された森が失われました (Table 2)。この内、4%が事故の火事で、他の96%は、伝統的な山焼きや悪意と思われる火事でした。

Table 2. Bush fire in Burundi (September 1992).

Province	Types	Traditional or criminal (ha)	Accidental (ha)	Unknown (ha)	Total (ha)
1. Cankuzo	Savanna wood lands	837	82	188	1007
2. Ruyigi	Savanna+reforested lands	6,268	182	—	6,450
3. Rutana	Savanna+reforested lands	422	3	—	425
4. Cibitoke	Reforested lands+natural forests	—	35	223	258
5. Bururi	Reforested lands+natural forests	1,360	—	—	1,360
6. Bujumbura	Savanna wood lands	16	6	—	22
7. Makamba	Savanna wood lands	—	10	—	10
		8,903	318	411	9,632

その上、人間の手で触れられていなかった原生林と違い、現在の熱帯雨林の開発（道路・キャンプ・プランテーション）によっていろいろな所で森林が開かれ、枯れた枝や枯木を作り、火事が広がりやすい状況をつくっていることも見のがしてはなりません。

(4) 農地・牧場・国づくり

アマゾンの場合ですが、毎年少なくとも伐採された1,500万から1,700万ヘクタールの半分が放牧地もしくは

は家業用農地（コーヒー・コーン・家畜など）になっています。そのうちの約半分が非常に生産性が低く放棄されています。なぜなら、熱帯雨林の土壌の質は悪く、せいぜい4年から8年くらい、農地が牧地としてしか使うことができないからです (POSTEL AND HEISE, 1988)。

人工衛星のデータによると、ブラジルと中南米においては、焼畑農業、放牧、道路建設、ダム、プランテーション、工業、木炭の生産などのために伐採の速度はもっと悪い状況となっています (Fig 2)。これは、アマゾン

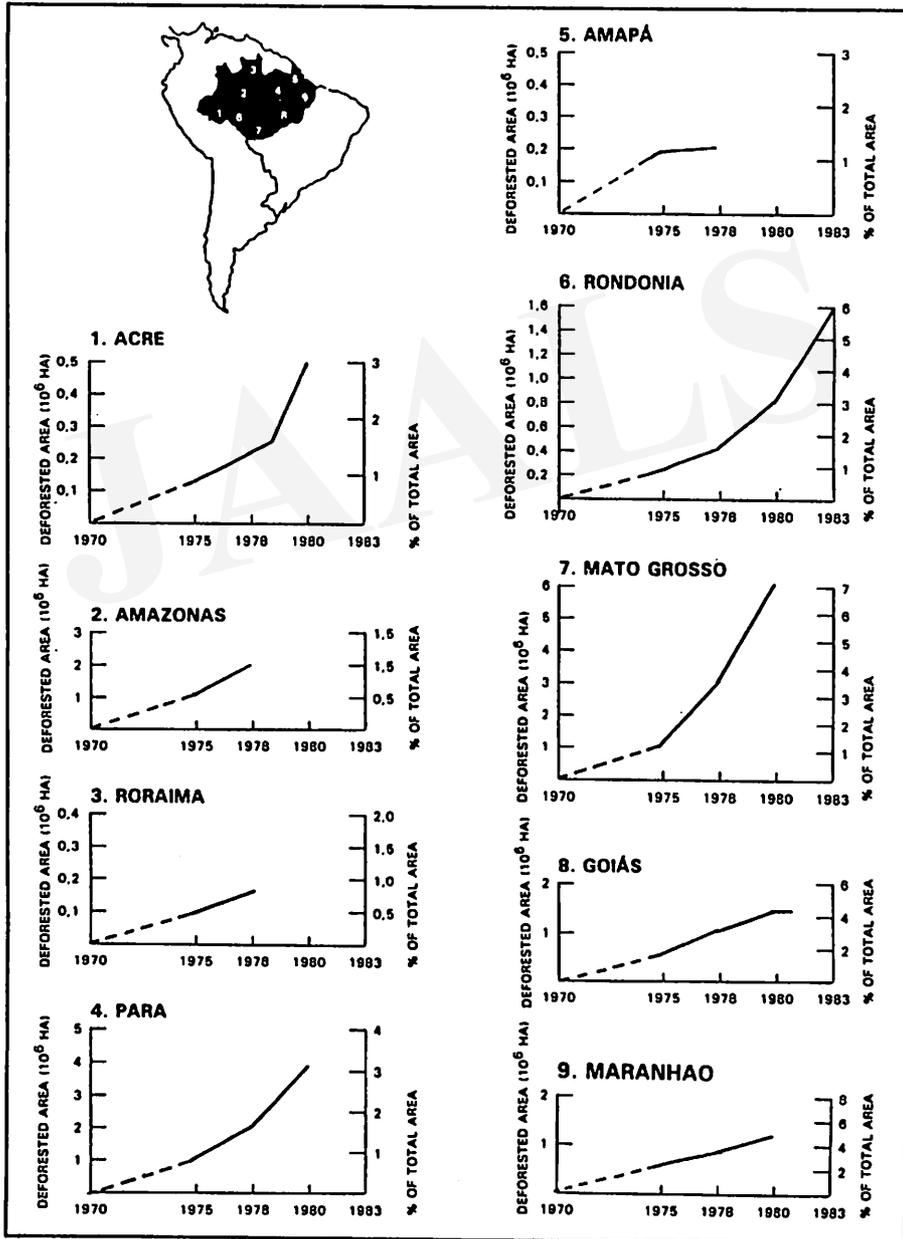


Fig. 2. Extent of deforestation in the Brazilian Amazonia. (from TREECE, 1987)

ン地域の伐採面積が1975年には全森林面積の1%であったのが1980年には4%、1983年には14%以上(約540,000 km²)にもなっているということでもわかります (TREECE, 1987)。

(5) 酸性雨

森林の減少にはもう一つ原因があります。それは、酸性雨です。東アメリカ、西欧、中国の東にある針葉樹の森林は現在、酸性雨で非常に大変な危機に直面しています (UTAN 編集部, 1991)。

工業化において途上国が、先進国と同じような開発のプロセスをとれば、同じような問題を抱えることになることに違いありません。熱帯地域では、この酸性雨の問題はあまり調査されていませんが、この地域のラテライトの土壌は、酸性雨に対して非常に弱いものです。とても層が薄く、やせている土地です。ですからこういった地域における森林の死滅を予想すると、実際結果として、先進国よりも非常に悪いものとなるでしょう。

3. 熱帯雨林が地球に与える影響

熱帯雨林は地球の生態系に対してどのような役割を持っているのでしょうか。

英語の「forest」(森林)という言葉は、ラテン語の「forestus」からきたものです。意味は、「念のために置いてあるもの」となっています。大昔から森林は人類にとって新しいフロンティアでした。すなわち、人類の拡大のために無尽蔵の資源として考えられ、「念のために置いてある」資源でした。木材、薪、薬用・食用植物、狩猟の資源だけではなく、必要なときには農業や町づくりの新しい土地を提供してくれました。

特に熱帯雨林は、制限のないかたちでいろいろな遺伝子、種を与えてくれ、土の豊かさや安定、水の供給、地下水、また河川における水の流域などのバランスをとり、自然環境を規制しています。そして、それゆえに地

球のエコシステムの地域的な、また大規模な気候と生命の永続化のために役に立っているわけです (サンガ, 1991a)。いくつかの例を取り上げてみましょう。

(1) 熱帯雨林と地球の大気・水循環

熱帯雨林の低い反射度(アルベド0.1、砂漠は0.4)と森の中の低い温度によって、熱帯雨林は太陽エネルギーに関して、吸収率の非常に高いシステムとなっています。光合成において、水循環に大きな役割を持つのです。こういった森林は、受け取った降雨量のうち50~90%を光合成によって蒸発させます。それに対して草地の場合は全降雨量の40%、裸の土地の場合ですと30%しか蒸発されません。

この森林のおかげで、熱帯地域に降る雨量は世界平均雨量(746 mm)の3倍以上と観測されています。また、地表の流水も、世界平均(266 mm)の3倍以上(879 mm)となっています (ICHI REPORT, 1986; 米田, 1992)。

さらに三つの熱帯地域の川、アマゾン、ザイール、オリノコ、これだけで地表の流水の23%を占めていますが、アマゾン地域だけでも全世界の河川の水の2/3を抱えているわけで、世界の淡水面積の実に20%を占めています。アマゾン川は約200,000 m³/秒の水量を大西洋に流しており、これは1年間約6,200 km³、アメリカ合衆国のすべての川の3倍以上となり、日本の16倍以上にもなっています (Table 3)。

すなわち、アフリカの2/3の川の水量はザイール川(52,433 m³/秒、約1,622 km³/年)から大西洋に流しています。いかに熱帯の川が重要な役割を果たしているかわかります (FORRESTER, 1985; 米田, 1992)。

熱帯地域においては蒸発散がきわめて高いので、この地域によって世界の大気中の水蒸気、湿度の62%が作られることとなります。これが熱帯地域以外に搬送され、世界の気候・水循環の熱力学的な大きな役割を果たしています。

また森林の表面は非常にデコボコになっているので、

Table 3. World rivers discharge.

River/Region	km ³ /year	m ³ /sec	Comparison
Amazon	6,200	200,000	3 times all USA; 16 times all Japan
Zaire	1,622	52,433	2/3 of Africa; 26% of Amazon
Mississippi	554	17,579	1/11 of Amazon
Shinano	16	465	1/430 of Amazon
All Africa	2,432	77,118	39% of Amazon
World	40,205	1,275,000	6.4 times Amazon

(Adapted from FORRESTER, 1985 AND YONEDA, 1992)

空気が動くのを抑え、暖流が起って上昇流ができ、それで雲が生成されて降雨量が増えるわけです。その結果、ほかの地域と比べて、森林地域に雨が 20% 降りやすい条件を備えているとっていいのです (ICIFI REPORT, 1986)。

こういった熱力学的なまた力学的な特性によって、この三つの熱帯地域 (アマゾン・中央アフリカ・東南アジア) が雨の一番多い地域となります。これは、熱帯地域の東西循環 (Walker Circulation) として知られています。この循環と南北循環 (Hadley Circulation) の coupling によって、熱帯地域の雨量の年々変動と El Niño 現象の関係が、最近研究から明らかになりました (Fig. 3) (CAVE, 1991; SANGA, 1993)。

(2) 遺伝子資源の宝庫

この熱帯雨林地域には、遺伝的に非常に多様性に富んだ生物が棲息しています。世界の全種 (約 300 万種類) の 50% がここにあるという、いわば宝庫となっています。ここでは、数えきれない微生物、虫、動物や植物の種類がお互い依存して共存してきました。現代の人間は、まだこの宝庫の 1% のものしか調べていません。今でも、毎年熱帯地域において 200 種類以上の新しい植

物が発見されています (WILSON, 1989)。これからまだまだ新しい薬用植物や食用植物がどんどん発見されてくるでしょう (ANKEI, 1990; TERASHIMA *et al.*, 1991)。

しかし前に述べたようにこの森林は今、伐採され続けています。現在までにすでに約 55% の熱帯の原生森林が消失しました。そして毎年、10,000 km² ずつが消失し、何千年にわたって生存していた 200 万種が、種の存続の瀬戸際に立たされています。こういったすべての熱帯雨林に住む種の損失は毎年約 0.2~0.3%、つまり、4,000~6,000 種が毎年破壊されているのです。このような破壊は、人工的な破壊によってであり、自然による絶滅に比べますと 1,000 倍の速さで行なわれています (ICIFI REPORT, 1986)。発見されていないままに消えた森林種も多いと思います。

(3) 土の安定と豊かさ

豊かな植物を持つ熱帯地域の土地ですが、高緯度の土と資源に比べて、とてもやせている土です。高緯度地域では、栄養分が土に密集して、豊かな土ができます。しかし、熱帯の方は栄養分が土の上の薄い表土や植物のなかで保存されています。この地域の大木の雨粒は大木の葉の上に落ち、スピードをなくします。影響のほとんど

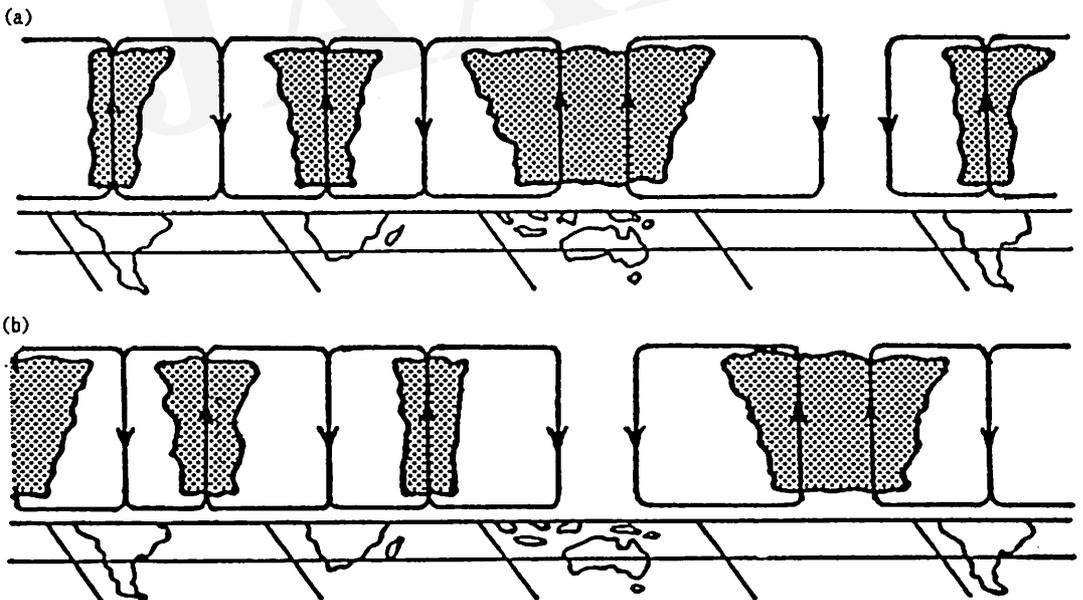


Fig. 3. The El Niño/Southern Oscillation (ENSO) phenomenon and its coupling with the tropical large-scale circulation and rainfalls distribution, based on satellite ORL data and wind divergence fields ($\delta u/\delta x$, $\delta v/\delta y$) by SANGA (1993).

(a) During normal years the tropical rainforests regions are under strong wind convergence and heavy rainfalls.

(b) During El Niño years (Dec. 1982–March 1983), the anomaly field show the occurrence of rainfalls over the normally dry regions and reduced rainfalls over the rainforests regions.

ないスピードで表土に落ち、枯葉や他の木の根の守りで流れないまま土にしみて、地下水になります。このようなシステムで熱帯雨林の土壌が守られていますから、もし植物がなくなれば、太陽、風、特に雨の影響で、短い時間で薄い表土が流れ出す、侵食現象を生み出すこととなります (CLARKE AND PALMER, 1983; LAZARUS, 1990)。それとともに熱帯雨林の中からのサバンナ化や砂漠化の現象が始まります (Fig. 4) (TREECE, 1987; KADOMURA, 1989)。

4. 熱帯雨林伐採の結果

もしこの熱帯雨林を、今のペースで伐採をしつづければ、2075年にはこの地球上から姿を消してしまいます。これは、大気をはじめ人間も含まれた地球環境システムに、どのような影響を与えるでしょうか。

大気の観点からみると森林減少は、次のような過程で進んでいます。まず光合成によって大気に戻される酸素 (O_2) と水蒸気が減ります。これにともない、地球のアルベドが大きくなって、雨の量を減少させます。最近の調査によるとアルベドの0.1%の上昇は、なんと降水量の23%減少することにつながっています (ICHIHI REPORT, 1986)。それにとまって、終わりのない連結作用が起こってきます。つまり、(1)土地の質や安定性が悪化し、森林自体がサバンナ化そして砂漠化への一本道となります。(2)生命体の遺伝子類が減ります。(3)地域的にも、大規模的にも地球の気候と環境システムに非常にマイナスな状態となります。

熱力学的に考えると、今の森林の減少に、毎年1%の化石燃料の増加率を合わせたとすると、大気中の二酸化炭素 (CO_2) がこれから急激に増加していくでしょう。これにとまない地球規模の温暖化が進むということになり

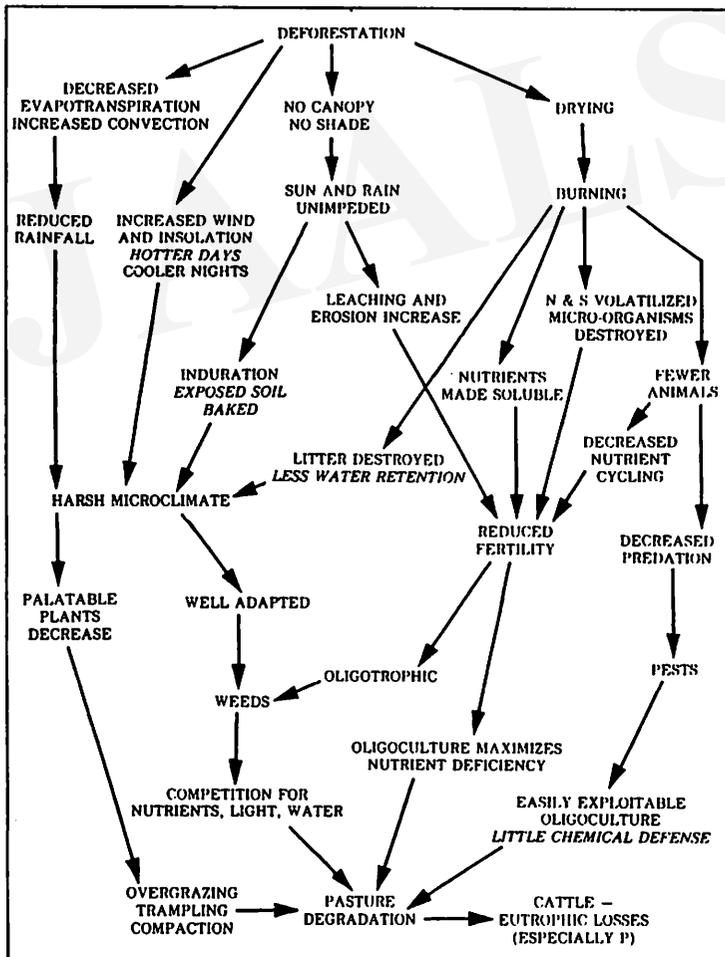


Fig. 4. Environmental degradation due to rainforests destruction, in relation with cattle pasture. (from TREECE, 1987)

ます (SINCLAIR, 1991).

数値計算の結果として (REVKIN, 1989), 北半球の中緯度地域は、平均的溫度が摂氏 2~4.5 度で上がっていくこととともに、少ない雨とグローバルな砂漠化が進んでくる結果がわかります。熱帯雨林の伐採は、どうしてもこの地域を中心とした、大規模な Walker と Hadley 循環を強く変化させ、地球規模の洪水と砂漠分布や熱帯・亜熱帯の大気・水循環にも、一方的な深い変化を与えることとなります (CAVE, 1991; SANGA, 1993).

全体的なシナリオは、このようになります。熱帯雨林が破壊され、この地域の大雨が表土を洗い流し、土壌の侵食によるダメージが起こります。これとともに地下水として補給されず、雨水が短期間で川に流れるので、侵食現象をもっと起こさせてしまうのです。川の上流にある山々の侵食、そして下流においては洪水という災害が生まれます。このような破壊のサイクルが続くと最悪の状態になって、砂漠化や雨不足や干ばつ、地下水が減り、川が乾いたり、また植生の悪化、植物が生殖しなくなる、こういった様々問題が生まれてきます。その上に、種の破壊、そしてもともと東南アジア・ブラジル・アフリカ、この森林に住んで来た民族が生活できなくなり、文化が次々に消えてしまいます (WILSON, 1989).

一度伐採されたら、この熱帯雨林をもとどおりに回復させることはできません。気候学的、生態学的な観点から見ても、熱帯雨林の破壊ということはきわめて深刻な問題を投げかけるものであります。今のペースで破壊が進めば、私どもの未来は厳しい状況に見舞われるに違いありません。

5. 人間と自然の共存への提言

今まで述べてきたことから、森林や熱帯雨林をただ木材資源として使うのは、最も非合理的な目的であるということが明らかになりました。すなわち熱帯雨林や森林の一番重要な主要目的は、木材ではなく新鮮な空気を供給する源として、また肥沃な安定した土壌、水の富んだ美しい河川、水源としてまた、生物学的な生態学的な多様性を保つ源として考えるべきであります。

ここが現代文明の未来へ向かって、一番大きなジレンマとなります。経済を今まで通り発展させていくか、それとも環境を守っていくか、という難しい選択であります (FRANKE AND CHASIN, 1980; UNDP ANNUAL REPORT, 1991).

結論からいわせてもらおうと、このジレンマをとくために、まずさまざまな環境問題の真の原因である経済発展の概念を見直さなければならないということが認められ

るようになってきました (DEVALL, 1985).

(1) 開発・経済発展というのは?

世界で、現在主流となっている発展の概念は、一方で過剰生産を行ない、他方で過剰消費を行なうという経済システムであります。その中では、できるだけたくさん利益を手に入れることが目的です (FRANKE AND CHASIN, 1980). お陰で現在、人類は高い生活水準や、医療、教育などを享受することができました。発展は、国の生産利潤や一人あたりの GNP で評価されるようになって、GNP を上げることが発展の最終目的や「ものさし」となりました。しかし一方で、自然資源やエネルギーが減少し、膨大なゴミ、廃棄物が生み出され、水・土・大気汚染の原因となりました (LASZLO, 1992). 産業革命以来この問題が悪化し続け、今地球の能力で、すべてを回復することも、ゴミを処理することも限界にまできています (サンガ, 1992a, b).

開発途上国も、先進国から進められたこの経済システムに賛同し、GNP の高い先進国をモデルとして、一生懸命自国を発展させようと頑張ってきました。ここでも誤った真似や土着的でない発展政策によって、ただ環境破壊と貧しさとの悪循環の問題に苦しむ結果となっただけです (DE HAAN, 1992). 過疎問題、都市の人口爆発、スラム化、社会・政治不安、貧しさがこの発展の結果です。生き残るために、貧しい人は周りの環境を犠牲にすることしかありません (FRANKE AND CHASIN, 1980; HARRISON, 1986).

(2) 開発・環境：国際関心

真の開発、経済発展とはどのようなものなのか? 今までのやり方でいいのか? 何を見直すべきなのか? どうしたらいいのかという様々な疑問が最近でってきました。

環境を守ろうという多くの運動が活発化し、現在の危機の状態に関心が高まってきました。砂漠に植林をする、熱帯雨林を守る、酸性雨で破壊された湖や森をもう一度回復させるなど、ゴミ問題、水・土汚染、原子力廃棄物、オゾン層破壊などの問題を中心とした活動が「Think globally, act locally」というスローガンで運動を広げています。

1992年6月にこの国際的な意識に基づいて、地球サミットが行なわれ、国連のレベルで21世紀の環境・開発概念(リオ宣言・Agenda 21)が発表されました。環境保存と開発を結んだこうした概念は、革命的なアプローチだと思います。主なポイントは:

(1) 環境保全・回復は、開発プロセスと別の問題ではなくて、開発と一体するものだ(リオ宣言第4条)

- (2) 国際関心・協力と参加の必要性 (リオ宣言第7条)
- (3) 今までの自然の生態系にあわない生産・消費パターンを取りやめること (リオ宣言第8条)
- (4) 内発的な発展を進め強めること (リオ宣言第9条)
- (5) あらゆる知識, 社会, 経済レベルの人々の参加への呼びかけ (リオ宣言第10条)
- (6) 地域によって, 現地の人々の知識と環境に対しての知恵に基づいた環境管理と生産のしくみを大事にすること (リオ宣言第22条)

これによって, 環境問題に対して, 一人や一つの国や一つの文化の指示では, この解決策を継続的に考え実行するのは無効だということが, より明らかになりました。リーダーシップを持ってきた, 西洋的な価値観 (人間中心・GNPを上げる発展) の文脈で考えても, 新しい解決方法が生み出されないのではないのでしょうか。限界です (サンガ, 1991b; LASZLO, 1992)。

自然に優しい開発の新しい概念を考えることは, 西洋的でない文化や, 今まで, 自分の環境と共存して生きてきた民族の生活の知恵から, 真の人間と自然, 人間と人間の関係をもう一度再発見できるのではないかと思うのです。第三世界の経験のある研究者 (RICHARDS, 1986; HARRISON, 1986; POSEY, 1989) もこれに同様です。

このような観点から, 中部アフリカのザイル国のルバ族の社会活動, 人間と自然の関係を取り上げてみます。これは1991~92年にわたり, 延べ6カ月間現場調査で集められたデータの分析結果であります。

(3) 自然との共存生活から学ぶ

東部ザイルのシャバ州のルバ族は, サバンナ文化の農民であります。今回の調査のカンバ郡 (Fig. 5) の人々は, 1年の雨季・乾季のサイクルと合わせて, サバンナに村や畑を作り, 農業, 魚釣りや狩猟で生活してきました。自然との関係はどのような関係でしょうか。

(1) 生活活動から森を

Fig. 6はサバンナの地域に住むルバ族の一つの村の絵です。いくつかの大家族 (clans=一族)——ここでX, Y, Zとする——が一緒に村を作ります。ここではすべての大人になった (18才以上の) 男の人に土地が与えられ, 自分の家を作って, 自分と自分の奥さんと子供達と暮らします (サンガ, 1991b)。X一族のA家族とZ一族のB家族のことを時間の流れの中で調べてみましょう。

最初は川の側の「村①」のように皆暮らします。皆いろいろな木の実 (マンゴ・アボガド・ヤシ・オレンジ・ミカンなど) を食べて, 種を捨てます。多い雨と質のいい土地に恵まれているこの地域ではすぐ種から新しい木ができて, 次々村中に増えてきます。時間がたっていく

と村が古くなったり, 特に村中に木がいっぱいできて, 森となって住みにくくなるので, 木を切るよりも (木は大事な財産ですから)「村①」から全員引っ越しすることになります。

新しい村「村②」の場所を決め, それぞれの家族が一番あう場所を選びます。その中で大人になった男の人は平等に土地を分け合います。

この村でなくなっていく人々は, 古い村「村①」の自分の土地か, 自分のお父さんや親戚の土地に埋められます。「村①」にある一族の大事な財産 (ヤシの木・マンゴの木・コーヒーの木・アボガド・パパイヤなど) は, なくなった親戚に守られ, 「村②」の一族の親戚が平等に使えます。

このような生活が20年, 30年と続きます。「村②」が森になって, 若者が大きくなって, 新しい「村③」を作るまで, この新しい村を分担する時は, 「村①」から「村②」の時と同じで, 引っ越ししてから「村②」が墓場になって, 「村①」は完全な森になってしまいます。このようにして, サバンナ地域に住むルバ人の環境に優しい生活から, 森林が継続的に作られてきました。このカンバ郡のほとんどすべての森は昔の村だったのです!

(2) 人と自然の関係

農業はサバンナ地域 (森のないところ) で行ないませんが, とときどき特別の農産物 (特にライス) を作るため, 0.5~1ヘクタールの面積の森を切り倒して, 焼畑農業が行なわれます。同じ所を1年, 2年使って, その後ファローランド (fallow land=休閑地) としておいておきますと, またすぐ森になります。

さきほど明らかにになりましたように, 人々の生活から森が作られます。しかしこの森には親戚の魂が住んでいるので, すぐ焼畑農業に使えません。彼らの親戚の魂が住める場所を無くしてしまうからです (サンガ, 1991b)。

例えば図1の「村③」に住む人々は絶対「村②」や「村①」の木を切らないのです。まだ近い (知っている) 親戚の霊が住んでいるところですので, 新しい「村④」の時くらい (というのは, 約100年後), 完全な森になった「村①」が焼畑農業に使われるようになります! 人間と自然の共存の意識があふれる生活の知恵だと思います。これに似た自然との優しい関係については, 他の地域の熱帯雨林の住民に関しても同様な調査結果があります (POSEY, 1989; RICHARDS, 1986; ERASMUS, 1990)。

この共存意識をもっと明らかにするため, もう一つの文化的な例を取り上げたいと思います。ルバ族の言葉に「be」動詞はあるけれども「have」動詞はないという事実です。「Have」(もつ)の代わりに「to be with」(~と

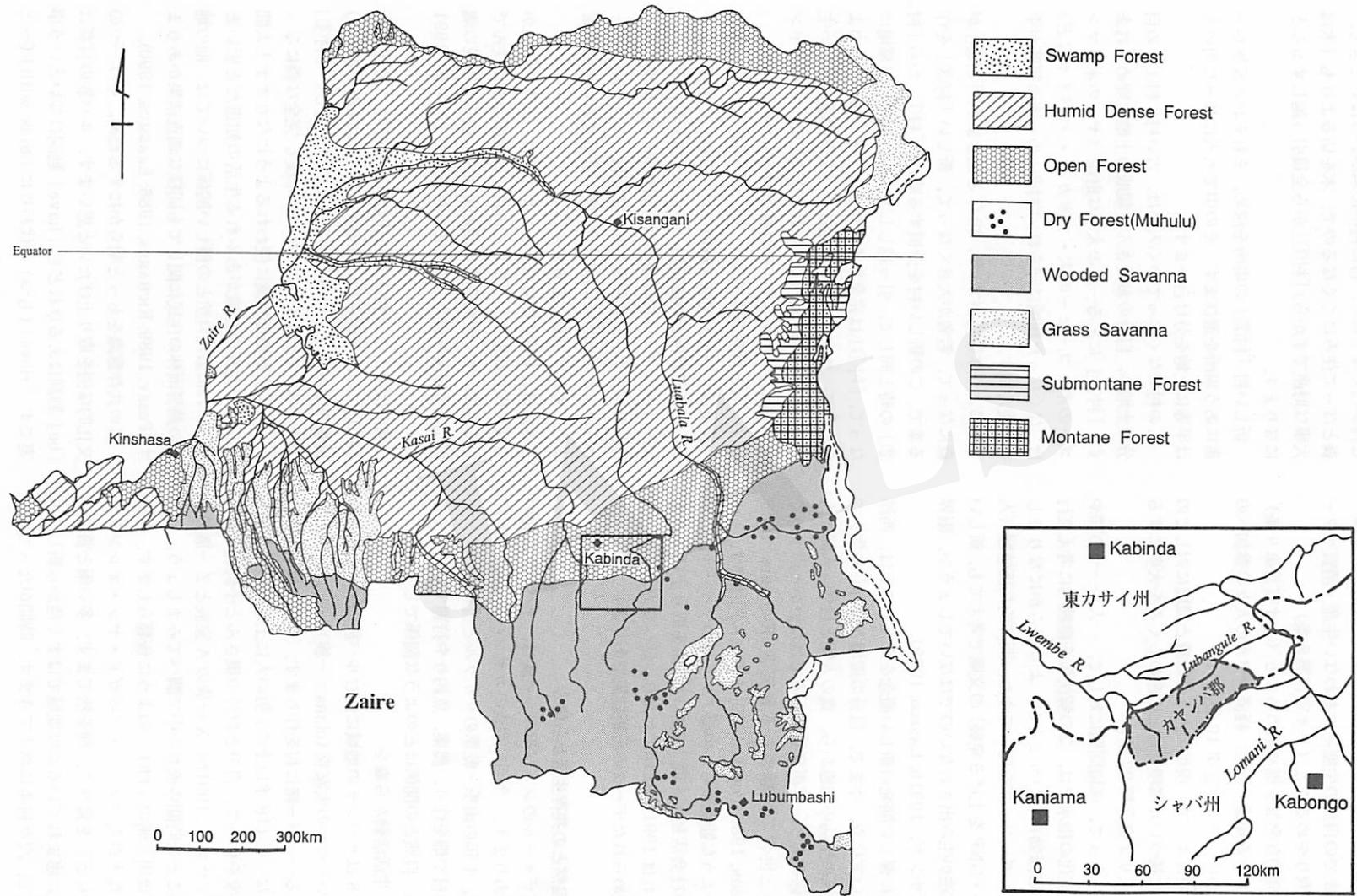


Fig. 5. Vegetation of Zaire and Location of Kayamba Country.

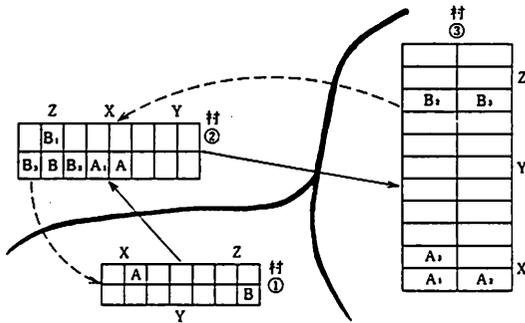


Fig. 6. Migration of a typical village in the Kayamba County, Zaire. (from SANGA, 1991b)

一緒にいる)が使われています。彼らは「私はペンを持っている: I have a pen」でなく、「私はペンという」といいます!どっちが持ち主(上),どっちが持たれているもの(下),上下関係ではなく,横の関係であることが明らかです。この言語的な発想は,ルバ族だけでなく,ほとんどすべてのサハラ以南のバンツー人には同じことになっています。まさに,人間は,自然にあるものの最高支配者ではなく,ただ自然の中の一部,仲間同士の植物,動物,鉱物と仲良く共存して,お互い対等で守り合いながら,生きていくことが彼らの真の生活の哲学であることにまちがいありません。

(4) 自然と共存への提言

こういった人間と自然に関する発想や価値観は,東洋哲学や宗教(仏教・儒教・神道)にも似たものがありますが,西洋の文化と宗教には,あまり見あたりません。

開発・環境問題に関しては,人間がどうしたら地球の環境を守っていくことができるかだけでなく,さらに,どの様にしたら,人間がこの地球の生態系の中で自分の位置をきちんと理解して,全体の働きかたに,スムーズに自分の役割をいかしていくか,ということを考えることをこれからの課題としなければなりません。

産業革命以来,西洋文明価値観(KOHL, 1984)がリードしてきた先進国にも,こうした西洋的な価値観の発展に疑問を持つ学者や団体が増えてきました。リオの地球サミットを初めとして,先進国やそれを真似してきた開発途上国の政府が,この限界と弱点を認め,見直し合うことを発表しました。

こんな時には,西洋文明をすべて捨てて,原始的な生活に戻ろうという声もでてきますが,しかし私はどっかにするというジレンマではないと思います(DEVALL, 1985; HARRISON, 1986; LASZLO, 1992)。

私は,リオ宣言の目標である人間と自然との継続的な

共存のために,二つのポイントが必要だと思います。まず(1)発展というのは,一つの価値観,文化のもとでやっていくものではありません。それぞれの地域に土着して生活の知恵をもとに,その社会・文化・自然環境にある内発的な開発をするべきです。そして,(2)継続的である,地球環境に優しい開発は,一方には見直された西洋的な生産方法の知恵と,もう一方は東洋哲学やアフリカ/中南米の原始的な生活をしている人々の自然と共存するすばらしい知恵と,両方を合わせ,新しい環境に優しい国際的な文明を生み出さなければなりません。

このバランスした組み合わせが,21世紀への私達の一番大きい挑戦であり,この開発・環境問題から抜け出るための唯一の道であると思います。

6. 環境に優しいアフリカの発展を目指して

具体的に,先に述べた提言によって,アフリカのこれからの環境に優しい発展は,どうすればよいかについて一つの例をあげたいと思います。

広いアフリカ大陸の中には,様々な国や地域と自然環境があります。ここで全部取り上げるつもりはありません。しかし,一般的といえば,みんな似た問題に直面しているということが現実であります:環境破壊,誤った経済政策,貧しさなど。

(1) 貧しさの悪循環

植民地時代以来,アフリカは天然資源(鉱物,木材,宝石,コーヒー,ゴムなど)の宝庫として,西洋的な近代化に組み込まれてしまいました。アフリカから安い産物をヨーロッパへ輸出し,反対に,ヨーロッパの技術と加工品をアフリカへ流し出すという経済システムが生まれました。それ以来,独立後でも,ほとんど何も変わっていません(HARRISON, 1986; FRANKE AND CHASIN, 1980)。

結果として,たくさんの農・鉱産物を作っても安い値段でしか売れないので,アフリカ諸国で十分な外貨を手に入れることはできません。よって,先端技術も国づくりもできない状態となっています。アフリカ諸国の70~90%の人々が田舎に住んでいて,近代的な生活とは余り関係のない暮らしをしています。

しかし,田舎の人々も,町に密集してきたスラムの人々も,生活するためには,彼らはただ残された周りの自然環境を犠牲にすることしかありません。彼らによる,都市近辺と田舎の森林伐採(焼き畑農業,建築材料,燃料など)によって環境が危機に瀕しています。

どうしてこの豊かな自然と,さきに述べた伝統的な共

存の知恵に恵まれているアフリカがこんな状態になってしまったのでしょうか。

まず一つの理由は、アフリカの近代化の過程は、直接にアフリカ人の生活問題に応えるためのプロセスではなく、先進国に安い原産物を供給するための外向けの近代化であるということです。もう一つの理由は、近代化、発展というのは、まず自分の価値観をやめ、代わりに西洋的な教育を通じて西洋的な価値観や文化に適応し、先進国をモデルとした発展を目指すことにであると信じたことです。アフリカの都会は、なんらかのかたちで、この真似の成功度を表わしています。

これらによって、アフリカでは自分の文化を失い、西洋の価値観の開発コンセプトや手段をマスターしないまま、貧しさの悪循環、物足りない開発、社会・文化・自然環境破壊を生み出すアフリカ流の開発プロセスを作ってしまった。いかに海外の協力者・専門家の支援と国際援助を受けても、アフリカ主体の開発でなければ、真のアフリカの自立と発展につながらないものだということが明らかになりました(サンガ, 1992b)。

(2) アフリカ村おこし運動

この貧しさの悪循環を破り、危機から抜け出す方法はあるのでしょうか。この問題意識が動機と目標となり、私は、アフリカ農村地の自立を目指すことを、研究活動のテーマとし、1989年に「アフリカ村おこし運動」(SAVE AFRIKA PROJECT)をスタートしました。

なぜなら、豊かな自然と伝統的な文化に恵まれ、まだ西洋化されていない、さらに70~90%の人々が住むアフリカの農村地が、自給・自立することは、アフリカ全体が継続的な発展をするために、欠かせない切札であることが分かったからです。

第一段階は、ザイールの田舎に位置する、カヤンバ郡(Fig. 5)という農村地をモデル地域とし、識字・環境・開発教育を進めます。こうすることによって、村人が世界の情報を得、自分の文化と環境の素晴らしさに目を開き、自分の発展の主人公となり、自分の社会・文化・自然環境に優しい、内発的かつ継続的な開発をしていくことができるでしょう。

第二段階は、移転先の環境を考慮しつつ、モデル地域の成功を、ザイール国内や他のアフリカ諸国に移転し適応させます。

(1) 子供・大人の教育

アフリカの村人に彼らの問題に応えられるような人材となる教育を提供することは、継続的な発展のために欠かせないものだと思います。

「アフリカ村おこし運動」ではカヤンバ郡にある、カバ

ンバ小・中・高等学校を作りなおし、子供にも(昼間)大人にも(夜)、開発環境教育を行ないます。学校のカリキュラムや教育活動は、農業や適切で簡単な技術のできる農産業と、現地の環境・健康管理中心に行ないます。特に大人の識字活動は、前に述べた内容を盛り込んだものとし、現地の言葉で行ないます。

学校のすべてのコースは、3年後自給自足を目指すことをポイントとしています。カバンバ村の学校を例として、他の村に広げる予定です。

(2) 開発教育

この運動の最終目的は、アフリカの様々な可能性(人材・文化・天然資源)を掘り起こし、村人の生活と自然環境を安定させることです。ですから今回、カヤンバ郡にある現地の農業・畜産や漁業関係技術と伝統知識のもとに、国外から適切な技術(HARRISON, 1986; RICHARDS, 1986)を取入れ、識字教育を受けた人々に伝えます。

これと同時に、現地の人々が自分でこの生産システムを管理できるように、経営組織(農業協同組合)を設置することも必要となることは間違いありません。

(3) 環境教育

学校や環境教育が素晴らしいものであっても、環境破壊が行なわれれば、何も継続的にはならないというのが現実です。ですから、町づくりも農業・生活活動(薪・焼き畑・火事)も、環境を大切にすることを無視しては成り立たないものだと思います。

この地域では、環境保全プログラムとして植林活動が企画されています。ただ燃料や木材になるユーカリや松(BASNET, 1992; SAXENA, 1992; MGENI, 1992; DEHAAN, 1992)を使うのではなく、現地の人々が育て馴れている油ヤシの苗木を使います(サンガ, 1992b)。定植してから4年後、ヤシの実から料理に使うことのできる、ヤシ油がとれます。ヤシ油はマーガリンや石鹸の材料として、農産業のベースとなり、村人の付加価値のある環境に優しい収入源として役立ちます。

この方法で村人は、植林・環境管理活動に動機を持ち自分の生活をもっと安定させるために、喜びを持って取り組んでいくのではないのでしょうか。

この運動を成功させるために1991年に「アフリカ開発研究センター」(Center of African Research for Development, CARD)というコーディネイト機関を設立しました。日本をはじめ世界の皆さんに呼びかけ、草の根レベルの国際的環境教育として、リサイクル運動や国際交流活動によって資金作り活動を行なっています。この「アフリカ村おこし運動」によって、アフリカの発展が「bottom up」し、現地の文化に土着した環境に優しい内発的な開発をすることができるでしょう。

7. おわりに

地球の開発・環境問題は決して発展を進めるか環境を守るかの、ジレンマ的な問題ではありません。

いままで主流であった、そして依然としてまだ主流である開発のやり方では、環境を破壊して、継続的な経済発展はただの短期間のユートピアであります。これによって人類をはじめ、地球の生態系は完全に絶望への一本道を走ることになります。これは、この論文で熱帯雨林の伐採とその結果の、例として取り上げました。

西洋的 (judeo-christian) な発想だけでこの開発・環境問題のジレンマを解決することはできないということが広く認められてきました (DEVAL, 1985; HARRISON, 1986; LASZLO, 1992)。これ以外の西洋的でない、かつ遅れたと思われる発想の中から、知恵を探ることが必要となってきました (POSEY, 1989; サンガ, 1992b; BASNET, 1992)。

発展はただ GNP を倍増する、ポジティブな経済の成長率を守るのを目的としたものではありません。人間の幸福とは、手に入れたものの量を物差しにするのではなく、生活の質 (文化・自然環境・社会福祉・教育・それを支える適切な技術) で評価されるものです。アフリカのルバ族にはこんなことわざがあります「本当に幸せな人は、たくさんのお金を持つ人ではなくて、たくさんのおき友達に恵まれている人だ。」(サンガ, 1990)。

この生活の質、幸せというものは、GNP のように計算できるものではありません。それぞれの文化に基づいた価値観で評価されるものです。各地の環境 (森林・サバンナ・砂漠・山・海・氷原など) がそれぞれにあう文化を、長い期間かけて、生み出だしてきました。それによって人間と人間関係 (社会) や人間と自然関係 (経済構造) がつくられてきました。

しかし現代の人類は、技術の発展によってボーダレス (borderless) の世界に住むようになりました。それによってこれからの国際文明のチャレンジは、自然環境保全だけでなく、全体的な環境 (社会・文化・自然) をいかに、地域的にも国際的にも、バランスをとって、継続的に生命を保っていくかということが課題となります。私はこれを「holistic approach to ecology」と名付けました。

この観点からみると地球環境・開発はジレンマではありません。人間はこの地球の全体的な環境システムのただ一部、一つの歯車としてこのシステムの仲間同士 (植物・動物・微生物・鉱物) とどうしたら仲良くしていけるのでしょうか。自分の生存かつシステムの全体的な生

存のために。

これを理解し、認めた上で、今後どのように現在の素晴らしい近代的な技術と、意味深い生活の知恵を結合して、より質の高い生活ができるかということが、21世紀の国際文明の、環境開発に関しての、新しいパラダイム (paradigm) となると確信します。

参考文献

- ANKEI, T. (1990): Cook book of the Songola: an anthropological study on the technology of food preparation among a Bantu-speaking people of the Zaire forest. *Afr. Stud. Monogr. Suppl. Issue*, 13: 1-174.
- BASNET, K. (1992): Conservation practices in Nepal: Past and present. *Ambio*, XXI-6: 390-393.
- BOYD, D. (1992): UNEP after Rio. *Our Planet*, 4-4: 8-11.
- CAVE, S. (1990): Production plus propre: des plans pour réduire les déchets. *Notre Planète*, 2-4: 4-7.
- CAVE, S. (1991): The El Niño phenomenon and the planet's climate. *Our Planet*, 13-6: 12-13.
- CLARKE, R. AND PALMER, J. (1983): *The human environment: Action or disaster?* (Chap 2), UNEP.
- CROSSON, P. R. AND ROSENBERG, N. J. (1989): Strategies for agriculture. *Scientific American Special Issue*, September 1989: 78-85.
- DE HAAN, L. J. (1992): Changes in livelihood strategies in the northern Benin and their environmental effects. *The Courier ACP-EC*, 133: 88-90.
- DEVAL, B. (1985): *Deep ecology*. Gibbs Smith Publ., Salt Lake City.
- ERASMUS, G. (1990): *Notes for an address to the Globe 90' Conference*. 5 p.
- FEARNSIDE, P. M. (1989): Deforestation in Brazilian Amazonia: The rates and causes of forest destruction. *The Ecologist*, 19-6: 241-218.
- FORRESTER, F. H. (1985): Inventory of the world's water. *Weatherwise*, April 1985: 83-105.
- FRANKE, R. W. AND CHASIN, B. H. (1980): *Seeds of famine: Ecological destruction and the development dilemma in the West African Sahel*. Rowman and Allanheld Publ., New Jersey.
- HARRISON, P. (1986): *The third world tomorrow: A report from the battle front in the war against poverty*. Pelican Books.
- HOUGHTON, R. A., BOONE, R. D., FRUCI, J. R., HOBIE, J. E., MELILLO, J. M., PALM, C. A., PETERSON, B. J., SHAVER, G. R. AND WOODWELL, G. M. (1987): The flux of carbon from terrestrial ecosystems to the atmosphere in 1980 due to changes in land use: Geographic distribution of the global flux. *Tellus*, 39B: 122-139.
- ICHI REPORT (1986): *The vanishing forests: The human consequences of deforestation*. Arena Press, Hong Kong.
- KADOMURA, H. ED. (1989): *Savannization processes in tropical Africa I*. Tokyo Metropol. Univ. and Zambia Geographical Association.
- KEITO, A. I., SCOTT, K. AND OLDSSEN, M. F. (1990): *Sustainable harvesting of tropical rainforests: A reassessment*. 8th Session of Int. Timber Council, 16-23 May 1990, Bali, Indonesia.
- KOHL, L. P. (1984): *The values americans live by: Merid*. House

Int.

- LASZLO, E. (1992): Global survival and the responsibilities of science. *Environment Conservation*, 16-2: 103-106.
- LAZARUS, D. S. (1990): Sauvons nos sols. *Notre Planète*, 2-4: 10-11.
- LINDEN, E. (1989): Playing with fire. *Time*, 18. 9. 1989: 76-85.
- MGENI, A. S. M. (1992): Farm and community forestry (Village afforestation) program in Tanzania: Can it go beyond lip-service? *Ambio*, XXI-6: 426-430.
- NECTOUX, F. and KURODA, Y. (1989): *Timber from the south seas*. WWF Int., Gland.
- POSEY, D. A. (1989): Alternatives to forests destruction: Lessons from the Mebengokre Indians. *The Ecologist*, 19-6: 241-244.
- POSTEL, S. AND HEISE, L. (1988): Reforesting the earth. In *State of the world*. W. W. Northon and Co., Publ: 83-100.
- REVKIN, A. C. (1989): Living with the greenhouse effect. *Dialogue*, No. 85. 3/89: 24-37.
- RICHARDS, P. (1986): *Indigenous agricultural revolution*. Unwin Hyman Publ., London.
- サンガ, N. K. (1990): 『キルウェ, ザ・ハンター』中央出版.
- サンガ, N. K. (1991a): 熱帯雨林の地球気候への役割—自然と人間の共存に向けて—「植物と地球」第4回花の万博国際シンポジウム, 開隆堂: 57-67.
- サンガ, N. K. (1991b): アフリカの文化: 西洋及び東洋の文化との比較. 「東洋学術研究」30: 23-37.
- サンガ, N. K. (1992a): 生命体・地球のリサイクル機能に学ぶ—豊かさの再考—. 「季刊アーガマ」122: 30-44.
- サンガ, N. K. (1992b): アフリカの開発にともなう環境問題. 「大阪産業大学年報」24: 14-33.
- SANGA, N. K. (1993): An observational study of tropical large-scale fields. Part 3: On the annual cycle and the inter-annual variability of the wind field. Submitted to *J. Met. Soc. Japan*.
- SAXENA, N. C. (1992): Farm forestry and land-use in India: Some policy issues. *Ambio*, XXI-6: 420-425.
- SCIENTIFIC AMERICAN, SPECIAL ISSUE (1989): *Managing planet earth*.
- SINCLAIR, J. (1991): Le réchauffement de la planète: un cercle vicieux. *Notre Planète*, 13-1: 4-7.
- TERASHIMA, H., KALALA, S. and MALASI, N. (1991): Ethnobotany of the Lega in the tropical rain forest of eastern Zaire: Part 1, Zone de Mwenga. *Af. Stud. Monagr. Suppl. Issue*, 15: 1-61.
- TISDELL, C. A. (1992): Environmental conservation: Economics, ecology and ethics. *Environmental Conservation*, 16-2: 107-112.
- TREECE, D. (1987): *Bound in misery and iron*. Survival International, London.
- UNDP ANNUAL REPORT (1991): *The challenge of the environment*. UNDP.
- UTAN 編集部 (1991): 『今地球を救う本』学研.
- WIERSUM, K. F., ANSPACH, P. C. C., BOERBOOM, J. H. A., DE ROUW, A. AND VEER, C. P. (1985): *Integrated rural development project in Eastern Province, Sierra Leone, in Changes in Shifting Cultivation in Africa*. FAO Technical Paper, 50-1.
- WILSON, E. O. (1989): Threats to biodiversity. *Scientific American Special Issue*, September 1989: 60-66.
- 米田政明 (1992): 中南米の熱帯雨林. 「熱帯雨林をまもる」NHK ブックス: 91-122.

A New Approach to the Coexistence of Man and the Nature —Learning from the traditional life expertise of the rural African—

SANGA Ngoie Kazadi*

An attempt is made here to devise a new paradigm for integrated and sustainable development, focusing on the problem of environment destruction of the tropical rainforests ecosystem, in relation with the present time development process within these regions.

As a matter of facts, since immemorial times, human civilization had always been associated with the destruction of forests as frontiers for new lands (agriculture, dwelling, ranching...). Primitive people who depend on the surrounding environment for a living, tend to use it sustainably, and live in continuous adaptation to, and symbiosis with it. As man divorces with the local ecosystem and devises more sophisticated means of production and subsistence independently from it, the development process becomes, thus, the motor of fast environmental destruction. So that, the more sophisticated a civilization, the more acute the problem of deforestation and environmental management.

Third World countries in the tropics, are torn apart by the ill-coexistence of traditional and modern (western) production systems. Excessively extroverted (production for exportation) and locally ill-mastered (both technologically and philosophically) development strategies are shown to be disrupting the ecological balance of the local ecosystems in many areas, destroying both their natural and socio-cultural environments, without bringing the expected material wealth. This highlights the shortcomings of the main-stream western style development framework.

* Department of Earth Sciences, Mie University. 1515 Kamihama, Tsu, 514 Japan.

In the search for a new approach out of this evil cycle of poverty and destruction, the ethnoecological knowledge and behavior of the Luba people in Zaire (Africa) is investigated. It is shown that, in order to solve comprehensively and sustainably the economy vs ecology dilemma, modern civilization has a lot to learn from the allegedly 'primitive people' (their environment knowhow, their socio-economic wisdom and expertise). Moreover, it is stressed that, the participation of these people, with their wealth of traditional knowledge, is crucial for the successfulness of these development strategies within their areas. In fact, unless they become both the targets and the actors of their own development drama, these people cannot effectively contribute, locally, to the sustainability of the global environment.

This seems to be true for all the other tropical regions, and has to be implemented quickly before it is too late, before destruction becomes globally irreversible.

Taking account of all this, the concept of "holistic approach to the ecology" is thus defined. This is the essence of a new paradigm for comprehensive and sustainable global development for global welfare, based on the friendly coexistence between the man and the nature.

Key Words: Deforestation, Natural and socio-cultural environments, Development dilemma, Integrated and sustainable development, Holistic approach to the ecology

質疑応答

Q: 市川正巳

地域によって過疎の現われ方が違うとの話でしたが、日本では田舎の人口が大都会に移動して過疎が起こる。ブルンジには過疎がなくザイールにはあるという話でしたが、どのような問題が現われていますか。日本では教育等、様々な分野に問題が現われていますが…。

A: 先生のおっしゃるようにブルンジには過疎がありません。ブルンジの人口 500 万のうち首都のブジュンブラは 40 万くらい。第二の街は 1 万 2 千くらいです。街は首都一つだけです。

ザイールは逆で半分の方は街に住んでおり、半分は田舎に住んでいます。過疎の問題は、田舎から街に出てきて、学校を卒業すると田舎には帰らないことにあります。なぜなら田舎には何も無い。働くところがない。設備がない。だから戻らない。田舎に帰るのは無駄。したがって田舎の生活はどんどん駄目になる。

田舎に残っている大人も家族を連れて街に移動してしまいます。このようなことで国の経済システムの中で田舎を管理することはできなくなり、田舎の生活は難しくなりました。

ブルンジでは過疎の問題はないが、国の経済が弱いので田舎を管理することはできないということが問題です。

公開特別講演会『地球サミット「国連環境開発会議」 と地球環境研究の動向』の総合討論記録

門村：これから三人のご講演で話された問題をめぐって、総合討論に入りたいと思います。まず先ほどの内嶋先生のお話に関連して、松本先生が質問された沙漠の緑化の問題に関して、意見のある方はありますか。

沙漠化と地球環境

サンガ：多くの人は、サハラ沙漠のような乾燥地を緑にしたら、地球の環境に役に立つのではないかと思います。これを実現するには、技術的にもスケールのにも様々な問題があります。現在、地球環境を取り戻すためには何が一番緊急となっているのか。私はまず、私たちの生活活動によって減少してきた熱帯雨林をどのように回復させるかという問題が一番大切ではないかと思います。この熱帯雨林の大気大循環と環境に対する役割は明らかになっています（湿気、雨、エネルギー、遺伝子…）。熱帯雨林の減少に伴って起こる環境問題もきわめて大きくなるでしょう。ですから、現在のような速度で地球の緑を伐採しておきながら、沙漠を緑にしようとするのは矛盾しているのではないかと思います。

松本（東京大）：初歩的な確認なのですが、内嶋先生の化石燃料の使用、CO₂の問題で、つまり普通化石燃料とは植物のたまったものである。それを使うということは何億年かけて植物が溜めたCO₂を排出してしまうという、そういった意味に理解してよろしいでしょうか。

内嶋：その通りです。だいたい今は炭素量で60億t/yとなっていますが、60億t/yということは、ほぼ地質時代から100万年かけて蓄えた量を10年で使いきるくらいのスピードだということです。

松本：もう一つ、地球の環境が変化した要因として、自然的要因の中に地球的要因というのがありました。生命の要因や生物の要因が造山運動といった地学的要因とも一緒にされていましたが、これには何か深いご配慮があるのでしょうか。

内嶋：それはinternalとexternalに分けました。internalというのは地球上で起きた自然的な原因ということで、植生の発達というのを一緒に入れたのです。というのは、33億年前から、高等生物の発達というのは地球大気に大きな働きかけをしている。それによって酸素大気ができて紫外線をカットする成層圏、オゾン

層ができた。それによって植物群が地球の陸上に現われた。それを追って動物がやってきたということで、現在の地球の生態系というものができた。しかも植物はアルベドが非常に大きく、もう一つは熱配分のなかで蒸散活動を非常にうまくやっているということで、マイルドな地球環境の実現に寄与した。

というように、地球環境の形成に大きな影響を及ぼしたということで植生発達史をあげることができると思います。それでよろしいでしょうか。

松本：生命の発生というものを地球との連続として考えられている。生命の歴史も地球の歴史も同じような生命観のようなものをお持ちとか…。

内嶋：いえ。地球自身が一つのシステムとして動いているのは事実ですけれど、それを生命体になぞらえるようなことはしたくない、という考えを持っているだけです。

人口問題と地球環境

高瀬（国際開発センター）：農業資源と地球環境の関係の調査を農水省の委託で4年計画でやり始め、今年で2年目ですが、2年目の終わりにきてハタと問題に突き当たり、迷っているところが一つあります。それは今日の内嶋先生の問題提起に非常に関係します。

というのは、開発と環境は両立する、あるいは共生する、共に進むべきである。貧乏な人が多い。そういう人をほっておくとますます環境を破壊していく。だから貧乏をなくすこと、つまり開発をすることが環境を十分に保全することにとって必要なのである、という点が一つあります。去年の今頃に比べてみると途上国と先進国の考え方がずいぶんと接近してきたように思われます。

ただ私は開発関係とアジア開発銀行の関係の仕事をやっていたので、具体的にきれいごとをいっても、先進国にも人口増加をストップするようになっていっても、できないと思います。人口は今想像されているよりは、少しは少なくなるかもしれません。1年に1%くらいには（増加率が）減るのではないかと思います。それでも2040年頃には80億以下にはなりません。それでも今の1.5倍くらいですね。先進国も経済成長ゼロというわけにはいかないと思います。やはり1%とか1.8%くらいの成長はしないといけません。途上国の方は、今GNPで400ドルしかない。こ

これは4,000ドル…10倍くらいにしなければ、とても貧富の差は縮まらない。そうすると、人口増加率を下げるとしてGNPの総額をみると、やはり50年でGNPあるいはエネルギーが3~4倍に増えないといけません。それくらい増えても地球は大丈夫だろうか、ということです。これは放っておけば10倍、15倍になります。それでは地球はだめになるといわれています。しかしゼロというわけにはいかないの、なんとか3~4倍に納めようという数字をつくらっているのですが、どうでしょうか。

内嶋：難しい問題ですね。

端的にいって、今いわれたように人口増とは非常にお金のかかるものです。生まれてきた人はただではすみません。それはもろもろのコミュニケーションについても、これだけ発達してきたらあらゆる情報を皆が共有しているわけです。われわれ日本人が、戦後アメリカの優れた生活を、改良への生活を映画を通して知ったように、今世界各国の人がテレビを通して先進国の生活を知っているわけです。同じ人間としておかしいのではないか、われわれだってやりたい、というのもひとつの欲望でしょう。それは当然です。人間として。

しかしもう一つの問題として、もしそれをすべてかなえていった場合には、それではやはり地球は破滅するだろう、という気がします。というのは、150億haの1/3をもう既に使っています。もしそれが2倍の人口になったら、残りを使わないといけません。そうすると150億haというのは100×150mに1人住んでいるのが今の状態です。100億というのは、そこに南極大陸もあるし、サハラ沙漠もあるし、グリーンランドもあるし、何でも、飛行場もあります。そこで人が住み、食糧生産だけはできるかもしれない。しかし他の生物は皆いなくなります。そういう世界の中で生きていけるのかという問題があります。

もう一つは人間だけが生き延びて、他の動物を殺しているのかというLIFEの問題があります。というのは33億年の歴史をたどってきた生命というもの、もし人間がそこで殺さなかったらもっと長生きするであろう、続くであろうかもしれない生物にたいして、ここで人工的に途絶えさせてしまうという権利は人類にはないでしょう。道連れにするということは、やってはいけないという気がします。

ということから考えると、今、高瀬先生は先進国が生活レベルを下げることは非常に難しいということを目指されましたが、10年から15年くらい前の経済学者の発表した論文のなかに、地球を救うというのは非

常に難しい、しかし、もしここで先進国の人が生活レベルを半分に下げ、残った半分を発展途上国に与える、そうして地球全体としてバランスをとる、というようなことを考えざるを得ない時代に入っているのではないか、ということを目指された論文を読んだことがあります。やはり、そういう時代に入り始めているのではないかという気がします。それなしには地球環境、地球・生物・人間というものはおおかたが破滅してしまう気がしています。

それからもう一つ重要な問題として、われわれ人類は地球を破壊する、地球を使うということで、今非常にenjoyしています。そして100億になった時にわれわれは何を生き甲斐とするのかという問題がもう一つ起きてくるだろうと思います。そういう物質とかエネルギーという問題のほかに、psychologyからの問題もものすごく大きな問題となるでしょう。それに対処するだけの、まだ知的訓練というものは支度できていないだろう、という大変な問題が起きてくるように思われます。そういうことで、私は3~4倍でも非常に難しいと思います。

自然との共生

飯島：内嶋先生の「自然との共生は、人間中心だけでよいのだろうか」という非常に胸にしみる言葉なのですが、一方日本の国民のなかにはやはり人間は大事だということを感じて言われる方がいらっしゃる。

人間中心に考えると、じつは私が先ほど申し上げたのは、人間中心に考えてもやはり今までの価値観というものは違うんじゃないか、実は、今内嶋先生がお話しになったように、誰がみても日本やアメリカの生活水準をみればそうなりたいたし、おいしいものも食べたいし、いいものも着たいと思う、とわれわれは思っていたが、ちょっと待てよ、と。

われわれは何のために生きているのか、ある人からいわれたのですが「皆さんは今生きていますか、それとも将来を生きていますか」という質問なんです。よく考えてみると、今を生きている人間というのは少なくとも日本の都市で働いている人には非常に少ない。今enjoyして生きていますといっても、もしかすると非常に苦労して忙しい残業をしながら住宅ローンを払っていたり、あるいは典型的なのは非常によいお葬式をしてもらいたいから今頑張っているとか、結局現代人というのは案外あまりenjoyしていないのではないか。人の幸せは何かというのは、もしかしたら間違っているのではないかと、皆これから思い出すのではないかとするのが私の考えです。とすると、今いったGNPをふやさなければならぬという理論が

今すぐに変わらないにしても、百年くらい先を考えてみると、人の幸せの価値観とか、ライフスタイルが変わっていく兆しがあるのではないかと、というのが先に言いたかったことです。今すぐに、というのは絶対に無理ですが。

幸いにして温暖化問題は内嶋先生は4~5倍だったら危ないのではないかとおっしゃいましたが、100年後の4~5倍では、まだ大丈夫ではないか、というのが私の考え方で、そのくらいでも、その時危ないかどうかという話が出てくる前に、そういう人の価値観、特に先進国の人間の価値観を変えていかないと、途上国の人はやはり追いかけてしまいます。そうすると、もっとよい価値観があるのだということを日本人が示し、あるいは日本人だけではなく途上国の人のいいところ、いい文化、いい価値観を探し出してくるということも必要になるのではないかと、地球で生きていくためにはそういう風な長期的な価値観の変換、ライフスタイルの変換が必要になってくるのではないかとというのが先に言ったことになります。

価値観の転換を

門村：サンガさん、今のお話について途上国の立場からのご意見をお伺いしたいと思います。

サンガ：開発途上国の発展は、いつも先進国の立場から論議されています。先進国の観点から問題が提起され、またその解決方法が進められ、それが最良の方法として実行すべきことになっています。できるだけ多くのものを生産し、輸出し、GNPを上げた成長率を高めること。結果はどうなっているでしょうか。アフリカ諸国では、独立してからGNPを上げるために働いてきました。しかしその結果は貧しさの悪循環でした。

私は、経済学者ではないのでよくわかりませんが…GNPの大きさと国が進んでいるか進んでいないかと評価することは、意味があるのでしょうか。このGNPを計算するとき、お金になったものだけではなく、生活の質に対する component も含めてはどうでしょうか。

たとえば、GNPに環境（社会・文化・自然）に悪い影響を与えるもの（ゴミ、汚染、健康問題、社会問題、自然・文化破壊）にマイナスをつけ計算すると、日本のGNPはどれくらいになるでしょうか。このような問題を繰り返さないため、これからの途上国の発展は先進国をモデルとして真似するのではなく、自分の価値観を大事にしながら、他の国々から合うものをピックアップする、そういう本当の国際的な関係が生まれてくるでしょう。一方的指導でなくて、お互いから学

び合うという方向に進むべきでしょう。

今述べたことは経済学的な発想ではありません。しかし発展というものは、人間の幸せで評価されるべきであり、またその幸せは人間が感じるもので、決してGNPという物差しだけで評価されるものではないはずです。

門村：価値観とかそういう話ではないのですが、もう少し別の角度からみると、最近では環境勘定という考え方があります。そういう立場で飯島さん、この環境勘定の研究についての最近の動向をご紹介いただければと思いますが。

飯島：今、サンがさんがおっしゃったGNPに対する評価が、たとえば環境を破壊すれば公害防止産業でGNPを上げてしまうわけです。一般的なわれわれの感じからして逆の方に働くので、それをもっと正確に測れないかということで、グリーンGNPとか環境勘定とかいうのが国連やOECD等で国際的に話が出てきて、そういう勉強がされています。ですが、いまのGNPは国単位ですね。日本でその勉強を始めたのですが、日本は既に環境を破壊した後ですから、いま、これからこういう勘定を入れていきますと、ますます新しいグリーンGNPは高くなってしまいます。20年前は計算してみると悪かったという話になるかもしれませんが、そういう計算はあまり政策に役に立ちません。

それでいま、日本は外国の資源、環境を破壊しながら日本のいわゆる経済成長を遂げているという視点を入れて計算しなければ、本当に日本の経済活動を探求することはできないのではないかと勉強をしているのですが、日本の国だけで済むのではなくて他の国もみんなそういう計算をしようとすると非常に難しい。現状把握が必要になって、いま壁にぶつかっているところです。

途上国にとって、これから発展していく国にとって環境の要素を入れたグリーンGNPは非常に意味が大きいものです。これから発展して環境が壊れていくかもしれない。日本に対しては外国の環境をどう使っていくかという視点もいれないとなかなか出てこない。貿易なども全部入れていかなければいけない。これは大変な統計作業です。経済白書はいらなくなるのですから、ですから多分日本のグリーンGNPは統計的にはうまくいかないのかなと思います。ただ、研究テーマとしてはもっと進んでもいいと思います。

門村：ありがとうございました。環境の価値とか経済発展の損得というのは、自国だけでなく他の国々の環境と人々の幸福も考えに入れてグローバルに勘定しない

といけないということでしょうか。以上のお話を通じて環境問題を考える場合の価値観とか、倫理観という問題が、いま大きな転機にさしかかっているということで皆さんのコンセンサスは得られるだろうと思いますがどうでしょうか。

最近ローマクラブが環境破壊や南の人口爆発、異常気象、飢餓やエネルギーの問題など、世界中で進行している「地球的問題群」に対処するために、われわれの意識革命が必要なことを説いた『第一次地球革命』¹⁾という本を出しました。このように、また「地球サミット」の開催の開催を契機に、研究レベルでも、行政レベルでも、また市民レベルでも地球環境とその問題に対する意識改革がまさに進捗しようとしているのが、世界的な動向ではないでしょうか。われわれの

沙漠学会における乾燥地域なり、沙漠を対象とした研究においても、グローバルなスケールで変動する地球環境のなかで、かつ変革期を迎えた地球環境観の枠組みのなかで論議を進めていかなければならない、というのが今日の結論ということで、これをもって閉会にさせていただきます。

どうもありがとうございました。

注

¹⁾ アレキサンダー・キング／ベルトラン・シュナイダー著、田草川 弘訳 (1992):『第一次地球革命—ローマクラブレポート』朝日新聞社。

(司会: 門村 浩

討論記録構成・編集: 黒瀬匡子・岩崎巨典)

J A A L S

沙漠化防止のための防風施設の役割†

真木 太一*

Role of Windbreaks for Prevention of Desertification

Taichi MAKI*

1. はじめに

世界的にマスコミを騒がせている環境問題に、地球温暖化、沙漠化、森林破壊、酸性雨、オゾン層破壊などがある。地球上の乾燥地は全陸地の1/3を占めている。この乾燥地では水が少ないために、人口増加に伴う過開発、過放牧、過伐採などによって沙漠化の危険性が高い。中国では緑化の進む一方では沙漠化が進行している。このため節水および気象災害防止と気象改良は不可欠である。

ここでは沙漠化、植生破壊に関連深い問題を取りあげ、防風施設とその他の対策技術について中国北西部の新疆における事例を中心に解説する。

2. 沙漠化の現状とオアシス

中国における沙漠化は、図1に示すように、1970年末までに相当広範囲に及んでいる。もちろん沙漠化であ

るから、例えば中国のタリム盆地のタクラマカン大沙漠の内部のように、昔から沙漠である地域は除いて、近年沙漠化した地域のみを示す。その面積は17万km²に達する(西村, 1986)。また沙漠化進行速度は1,500km²/年であり、今後沙漠化の可能性のある地域は16万km²に及ぶと言われており、緊急を要する課題である。なお、1992年6月にはブラジルで「環境と開発に関する国連会議(地球サミット)」が開催され、沙漠化の問題も論議され、アジェンダ21に取りあげられて、対策がとられつつある。

沙漠化の原因には自然的要因(気候変化による降水減少)と人為的要因がある(図2)。中国の乾燥地では、人為的要因による沙漠化は主として過放牧、過開墾、過伐採、過消費によるが、この沙漠化の過程は流れ図に示したとおりである。

沙漠のオアシス(緑州)とは非常に好適な精神的やすらぎを与える桃源郷のイメージがあるが、たとえ広いオアシスといえども、周辺の乾燥地、すなわち沙漠の影響を受ける。大陸では春・秋はないとも言われる程であ

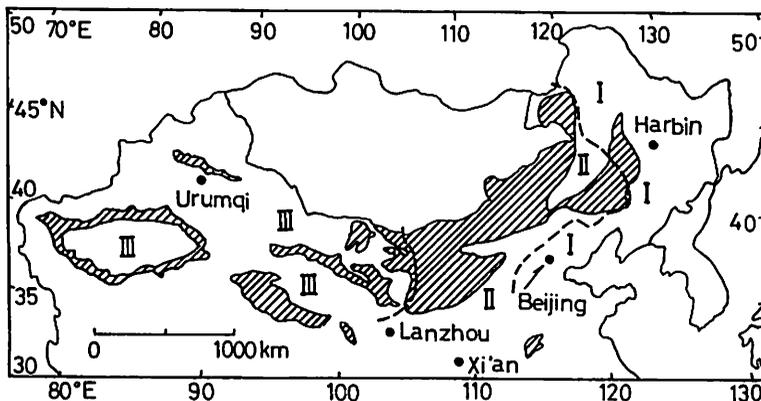


図1. 中国北方地域の沙漠化の地域区分。(朱・劉, 1981; 河野, 1988; MAKI, 1993 により作成)
I: 半湿润地带沙漠化土地零細分布区, II: 半乾燥草原地带および沙漠草原地带沙漠化進展区,
III: 乾燥沙漠地带流砂侵入および固定・半固定砂丘活性化区

† 本稿は1992年10月6日に理化学研究所で行なわれた第2回沙漠工学講演会における講演の要旨である。
* 農林水産省熱帯農業研究センター環境資源利用部
* Marginal Land Research Division, Tropical Agriculture Research Center

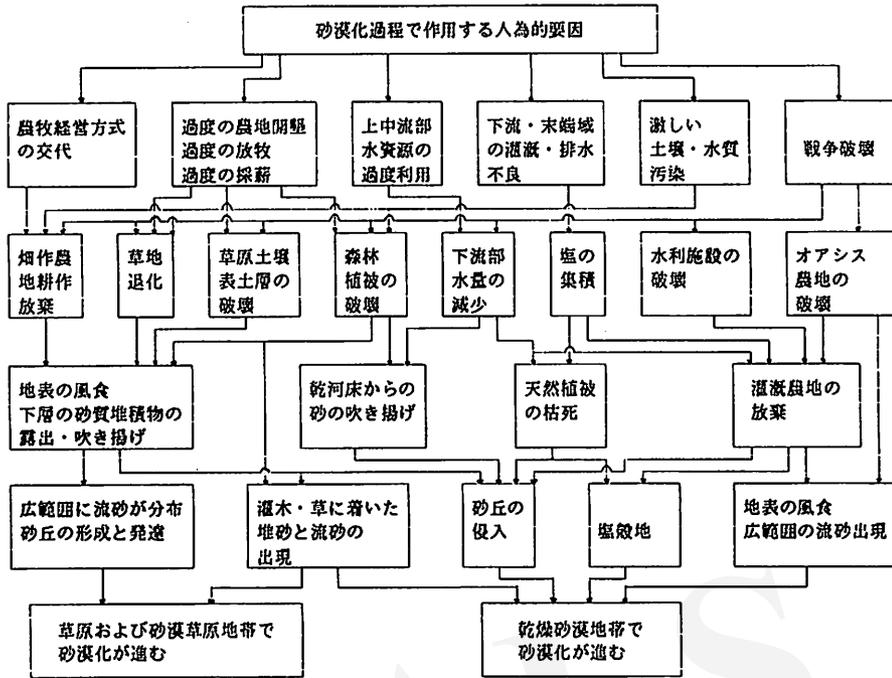


図2. 砂漠化過程で作用する人為的要因の流れ図。(朱・劉, 1981; 河野, 1988; 真木, 1992 により作成)

り、冬から夏、夏から冬へと一足飛びに気候が変わる。乾燥地域では強風は風食を起し、上空に砂塵を巻き上げ、太陽が見えなくなることが多いが、その時にはオアシス内でも砂塵は降り、高温時には高温、低温時には低温となる。ただ、それらの程度が小さいということと風食の発生が少ないことである。オアシスの典型は林に囲まれた土地である。乾燥地域のオアシスは防風林、防砂林がないものはないと言っても過言ではない。

次に防風林による気象改良効果について、著者が1990年3、6~7、10~11月、1991年4~5、8~9、11~12月、1992年4~5、7~8月に約1カ月間づつ中国の乾燥地で実施した代表的な観測結果を報告する。

3. 防風施設による気象改良と沙漠化防止

1) トルファン気候

トルファン気象站 (42°56' N, 89°12' E, 海拔 34.5 m) における月平均気温は7月に 32.7°C, 1月に -9.5°C, 年平均気温は 13.9°C, 最高・最低気温の極値は 47.6°C, -28.0°C である。年降水量 16.4 mm, 年蒸発量 2,837.8 mm, 年最小湿度 0%, 年平均風速 1.7 m/s, 最多風向 E, 強風時の風向 NW と WNW, 8級 (平均風速 17.2 m/s) 以上の日数は年間 26 日, 強風期は 4~6 月である。なお、沙漠研究站の気象観測地点 (海拔 -80 m) で

は 1990 年に 47.9°C, 1991 年に 47.0°C, 1992 年 6 月に 47.9°C の最高気温を記録した。

2) タマリスク防風林による気象改良効果

中国西北部のトルファンで実施中の防風施設による気象改良効果および広域の気象改良の事例を示す。夏季、タマリスク防風林 (高さ 4.6 m, 密閉度 85%) による減風・気象改良効果を図 3 (真木, 1991) に示す。最低相対風速は基準風速の 10% 程度になり、減風範囲は風上 -10 H~風下 30 H (高倍距離, 防風施設の高さで表した距離, -は風上側, +は風下側), 主として -5~20 H である。夜間 0 時には風下側では減風による放射冷却で砂質の地表温は低温である。6 時には防風林の風上直前は日陰のため低温であるが、風下直後は日射によって高温である。12 時には防風林前後、特に風下側で 80°C になり、防風林内では日陰のため 28°C も降温させる効果がある。

相対湿度は 18, 0 時に林葉からの蒸散による加湿作用のため風下側で少し高く、6 時には風速が弱く加湿効果が顕著である。12 時には防風林内から風下直後で湿度が高い。気温は地表温の変化より小さい。また 18, 0 時の変化形態は比較的良好に類似している。6 時には防風林の直前・直後の日当たり・日陰部の変化のみである。12 時には防風林による昇温が顕著に認められる。乾燥地で

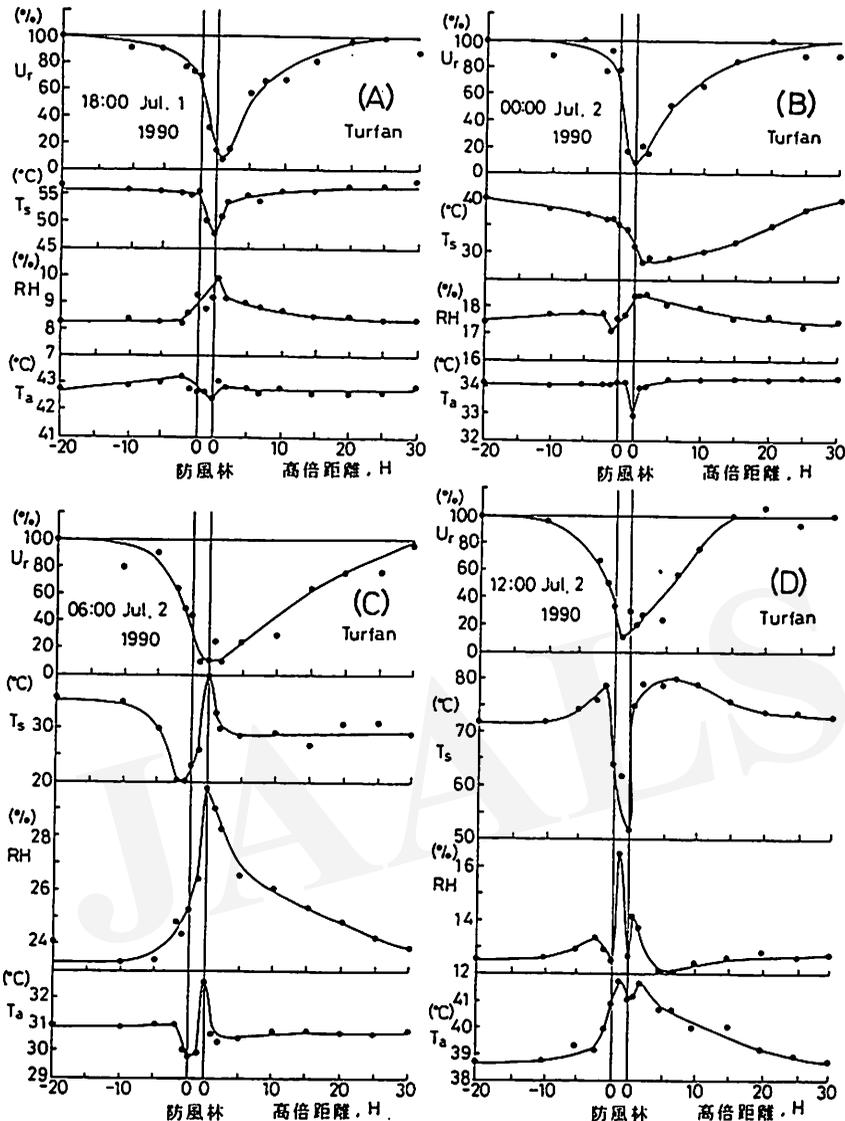


図3. タマリスク防風林による気象変化。(真木, 1992; 真木ほか, 1992により作成)

はこの効果が有効である。

乾燥地の夏季の防風林の効果には、防風林付近での減風、蒸散作用による加湿、夜間の降温があるが、昼間の昇温は不利である。

3) 防風ネットによる気象改良効果

1990年10月10～11日の防風ネット（高さ1.85 m, 密閉度 A: 50%, B: 45%）による効果例を図4（真木, 1991）に示す。風向が 60° 方向であるため効果範囲は狭いが、 $-5 \sim 10$ H 付近では減風が大きい、21時の地表温に変化はないが、防風ネット付近の降温とそれに伴う湿度の上昇が認められる。12時の地表温は $-2 \sim 10$ H で

高いが、0 H ではネットによる日陰のため低温である。

$-2 \sim 10$ H の気温も防風効果によって昇温し、その昇温で相対湿度は低下、乾燥する。防風林と比較して加湿効果は小さい。

防風ネットによる減風、春秋の昇温や夏季、夜間の降温の各効果は好適である。日陰による昇温抑制が小さいため夏季、昼間は過昇温となる。防風林のような加湿効果は小さいが、減風に伴う風食防止、飛砂防止効果が期待できる。また防風林の生育は長年月かかるが、防風ネットは短期間に効果を発揮でき、防風林自体の生育保護用に利用できる。

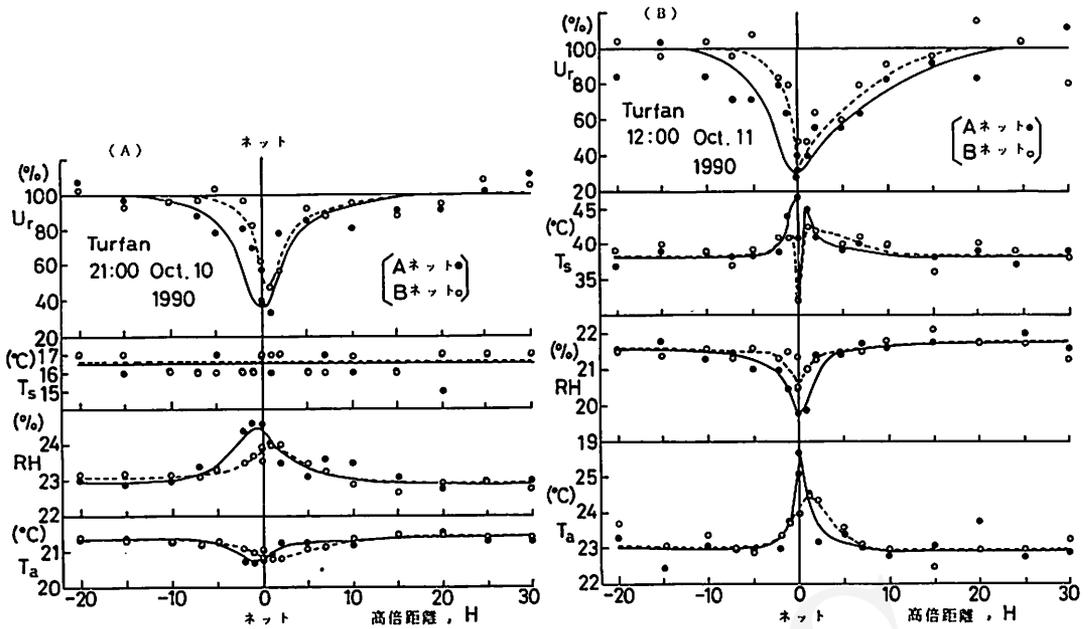


図4. ポリエチレンラセル防風ネットによる気象変化。(真木, 1992)

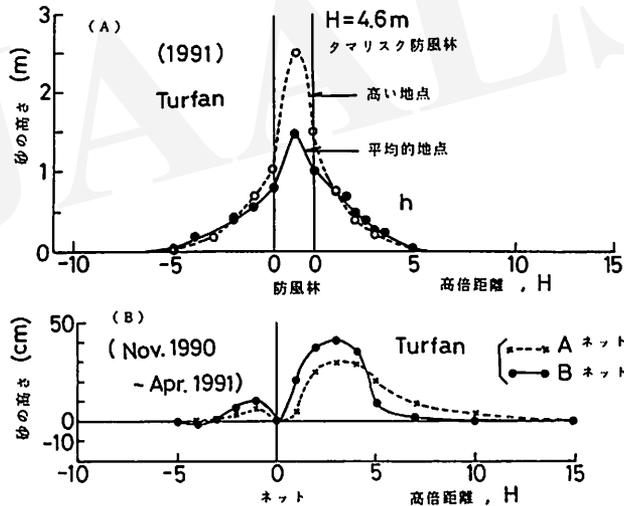


図5. (A) タマリスク防風林による堆砂状況, (B) 防風ネットによる堆砂状況。(真木, 1992)

4) 防風施設による飛砂防止効果

タマリスク防風林による堆砂状況を図5Aに示す。堆砂は防風林内の高い所で2.5m, 平均的な所で1.5m, 低い所でも0.5mである。埋砂は防風林の前後-6~6Hであり, 防風林からそれ以上離れると風食・堆砂の混合域に変わるが, それは主風向, 逆風向時の風食による。

防風ネット(密閉度45%)による堆砂は図5Bのとおりである。風下3H付近にAネットでは40cm強, Bネットでは30cmの堆砂が認められる。また, 防風ネット

の下方に砂が着く場合と着かない場合で少し異なるが, 50~60cmの堆砂が認められる。ただし, これらの防風ネットは減風が主目的であり, 堆砂は副次的な現象である。

5) 防風林による作物への効果

沙棗・楡防風林によるワタ, コウリヤンの生育状況を図6に示す。4~5Hで草丈が高く, 10Hでは比較的低い。また2列目の沙棗・ポプラ防風林のため16H付近

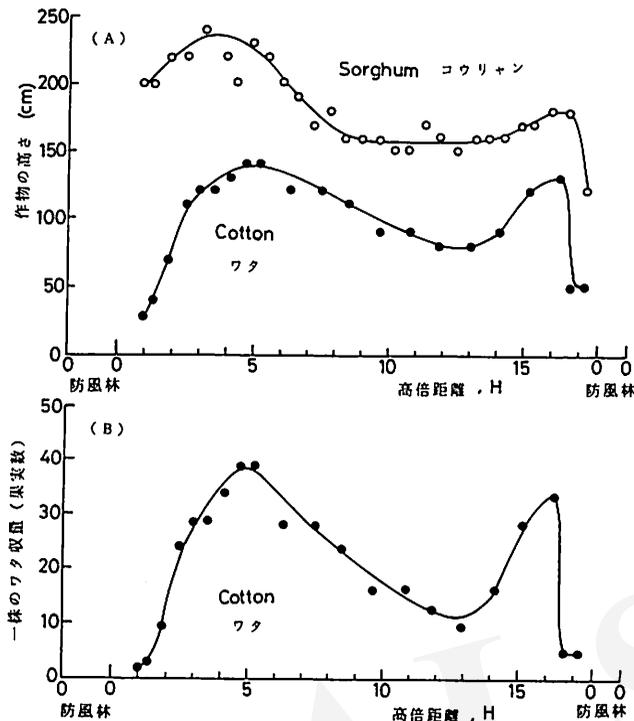


図6. 防風林によるワタ、コウリヤンの草丈(A)とワタ収量(B)の変化。(MAKI, 1993)

での草丈が高い。防風林がなければワタの草丈は 50～80 cm である。乾燥条件下での作物栽培は環境が厳しいため効果範囲は狭くなる。防風林によるワタ収量への影響程度は草丈の場合より顕著である。

6) タマリスク防風林の特徴とオアシス

タマリスクは耐風、耐干、耐熱、耐寒、耐塩性が大きく、乾燥農業限界地域に適する。砂に埋まると植物体が伸長する特性があり、トルファンでは植林後の樹高が 10 m に近いものもある。防風・防砂林にはポプラ（数種）、沙枣・胡楊、柳、榆が多く利用されている。乾燥農業限界地域では防風林は不可欠である。オアシス（緑州）化は防風林の造成があって初めて可能となる。

7) 三北防護林事業

中国の東北、華北、西北の三北では南北 400～1,700 km、東西 7,000 km に及ぶ緑の長城（万里長城 6,700 km にちなんだ名称）として農地、道路、水路の保護林を造成しつつある。東北部では成長が早く、材木として利用できるポプラを主に植林しているが、新疆では環境が厳しいために上述の数樹種を植林している。

4. 沙漠化と水食・風食防止

乾燥地では平均的に雨が少ないが、一度降ればかなりの量になる。例えばトルファンの年降水量は 16.4 mm であるが、1日に 36.0 mm も降ったこともあり、一方、年間で 2.9 mm の場合もある。このように沙漠では年変化、場所による変化が大きい。乾燥地では植生がほとんどないため 1日に数 mm も降れば沙漠で洪水ということになり、土漠、砂（砂丘）沙漠、ゴビ（礫）沙漠を蛇行しながら流れる。水食を防止するには山地に植生を回復させることであり、天山山脈の 1,500～2,500 m にある森林の伐採は控え、植林する必要がある。また、土漠や砂・礫沙漠では川、水路を土木的に整備して、決まった場所を水が流れるようにするとともに防風林や土砂かん止林を造成する必要がある。

圃場では地表面の被覆率を高め、密植、牧草導入、混作、冬春季の裸地化防止、マルチ（ワラ、フィルム）を行ない、等高線栽培を実施する。また、堆肥の施用、塩集積地では石こうなどの施用や客土などの土壌改良を行なう。表面固定としてアスファルト乳剤、ラテックス乳剤で被覆する。さらに水路では薬掘りではなく、草生、敷石、コンクリート、管（土・コンクリート・鉄管）な

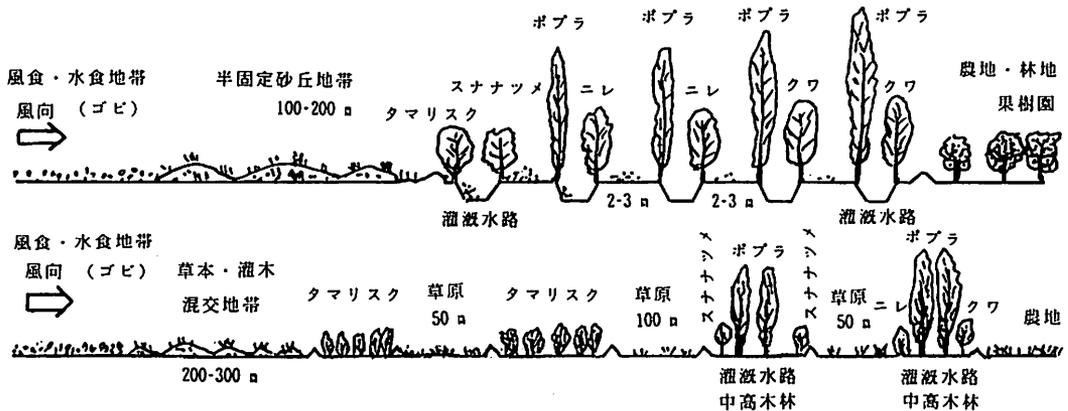


図7. 砂丘地からオアシスまでの防風林帯, 防風垣帯, 草生帯などの配置状況。
(新疆生土研, 1978; MAKI, 1993 により作成)

どで整備する。

特に, 風食防止には防風林, 防風ネットや井げた状のわら立て(草方格), 粘土格, スプリンクラー, 溝, うね間灌漑などを行なう。草方格はムギワラの中央部を砂中に押し込んで 1×1 mの蒼盤の目状に作る防風・防砂施設である。代表的な設置場所は賚格里沙漠の東端の包頭—蘭州鉄道沿にあり, 幅1 kmの飛砂・砂丘防止帯で鉄道・道路を保護し, 成功している。

砂沙漠(砂丘)の緑化(固定化)には風の力を弱めるか, 砂丘表面を保護するかである。従って飛砂を防止し, 砂丘の緑化工を行なう必要がある。これは緑化工の流れ図(図省略, 姚, 1986; MAKI, 1993)にまとめられている。沙漠化の対策技術と緑化技術および具体的作業の状況がよく示されている。

5. おわりに

乾燥地の作物は厳しい環境下にあり, 耐干, 耐風, 耐熱, 耐寒, 耐塩性を持つ必要がある。このような農業限界地で農業を行なうには, 防風林帯, 防風垣帯, 草生帯(図7: 新疆生土研, 1978; MAKI, 1993)などが必要であり, 図2に示したような原因を取り除いて組織的な環境改善を行なうことが望ましい。

防風林を造成しないと作物栽培は難しい。しかしながら前述したとおり, 過剰に開発したのでは「沙進人退」になりかねない。人口増加の条件下でも「人進沙退」であって欲しいと思う。これには利用可能水量の評価と使用水量および利用可能(開発)土地の評価を行なう必要がある。すなわち環境アセスメントである。ダムによる過剰取水の制限とともに農業や生活レベルでは砂地への表面灌漑の効率化, 導水路中の周辺への漏水, 地中への侵透の減少, 水路での蒸発の減少, 塩水化防止また水道

パイプのバックリングなどの改善によって節水に務め, 水資源を有効利用する必要がある。

ジュンガル盆地, 特にカラマイでは中国第2の石油基地となっており, 石油の開発に熱心である。また, 最近タリム盆地で石油が発見されたが, ただ, そこはタクラマカン沙漠の中央部であるため, 沙漠横断道路を作り, 道路を保護する必要がある。砂丘による道路の埋没防止技術開発を行なうため, 現在2 kmの試験道路を輪台(庫車—庫爾勒間)のタリム川南方に造り, 防風林, 防風ネット(著者のネット), 防風垣, 草方格, アスファルト, 塩散布, 植生区などの保護実験をしている。実用に際しては, いくつかの手法を組み合わせることが望ましく, 今後の実用化を期待したい。

引用文献

- 環境庁水質保全局(1990):『沙漠化の現状と対策』132 p.
河野通博(1988): 中国における沙漠化とその防止についての覚書。「地理学評論」61A: 186-197.
真木太一(1991): 中国乾燥地域の気象・蒸発散特性の解明と防風施設による風食防止。「国際農林業協力情報」14-3: 31-40.
真木太一(1992): 中国北西部の乾燥農業地域の気象改良事例。「日本農業気象学会耕地気象改善研究会論集」5: 13-25.
MAKI, T. (1993): Present research status on methods to prevent desertification. *J. Agric. Met.*, 48: 523-530.
真木太一: 潘伯榮・黄丕振・閻国榮(1992): 中国トルファン乾燥地におけるタマリスク防風林による微気象改良。「農業気象」48-2: 157-164.
西村格(1986): 内蒙古草原の沙漠について。「農林業協会専門家通信」7-2: 1-15.
新疆生土研(1978):『新疆沙漠と改造利用』新疆人民出版社, 104 p.
姚洪林(1986): 沙漠の緑化技術について。「緑化工技術」12-1, 29-43.
朱震達・劉恕(1981):『中国北方地区的沙漠化過程及其治理区劃』林業出版社, 83 p.

質疑応答

- Q: 中国ウルクチでの貴重な研究成果を大変興味深く伺いました。水の有効利用に関して、現地でのご経験を踏まえて何か感じておられることはありませんか。
- A: 水が大変大切なものとされている割には、その管理の技術が普及していないようです。たとえば水路を作るにしても、1年で数百メートルしか進めない。この時代ですから、もっと効率的な方法があるとも思いますが、昔からの方法に頼らざるを得ないようにも思われます。さきほどのパイプの利用にしても、輸送中の水のロスが少ない良い方法が他にあるように思いますが、資金の問題もあるでしょう。ホテルの水道の蛇口にしても、パッキングがすり減っていて、年中ク啦啦と水が流れていても気に

ならないようです。基本的には「節水」まで手がまわらないでしょうか。

- Q: ウルクチでの研究計画は、いつまで続けられるつもりですか。また、実際の研究をどこまでカウンターパートにまかせておられますか。
- A: 最初の研究計画は、平成5年3月で終わることになっていますが、さらに、5カ年延長する計画があります。予算化された場合には、研究実施の拠点を増やすことも考えています。土壌研究に関しては、熱帯農業研究センターの研究者が1名現地に長期に滞在して研究を行なっていますし、来年の1月からは、カウンターパートが1名筑波に来てこちらで研修することになっています。気象研究に関しては現地のカウンターパートが協力してくれている作業は、定期的な記録カードの交換と2日に1度の土壌水分の測定などです。

太陽電池とその沙漠への応用[†]

桑野幸徳*・田中俊哉*

Solar Cells and Their Application to Desert

Yukinori KUWANO* and Toshiya TANAKA*

1. はじめに

クリーンで限りない太陽エネルギーを直接電気エネルギーに変える太陽電池は、新しいエネルギー源として、大きな注目を集めている。特に1973年の石油危機以降、日本や米国では、国家プロジェクトとして開発が進められてきた。また、最近では化石燃料の大量消費による酸性雨や地球の温室効果の問題などから、新エネルギー源としての太陽電池への期待が一段と高まっている。

本稿では、最初に地球環境問題とエネルギー問題について説明する。次に太陽電池の特長、太陽電池の開発の歴史と現状、最近の民生用および電力用への応用について述べるとともに、将来の世界的なエネルギーシステムと、その沙漠への応用について展望する。

2. 地球環境問題とエネルギー問題

近年、人類の生存に係わる問題として、フロンによるオゾン層の破壊、二酸化炭素などの増大による地球の温暖化、硫酸酸化物などによる酸性雨、人口増加による沙漠化の進行などの、図1に示すような“地球環境問題”が明らかになってきた。フロンの問題は、代替品の開発が進んでおり、一応のメドがつつつつある。しかし、石炭や石油などを燃やすことによって発生する二酸化炭素や硫酸酸化物、窒素酸化物などによる問題は、まだまだこれからの問題である。

我々は、石油や石炭を全く使わないということではできないために、現実的には解決策として、省エネルギーが提案されている。しかし図2に示すように、現在地球上に存在する資源量には限りがある。また、人口増加など今後の消費増大を考えると、図3に示すように西暦2020~2030年に化石燃料のピークを迎え、人類が必要とするエネルギー消費と大きなギャップを抱えることになる。これを防ぐには安全、無公害かつ無尽蔵なエネ

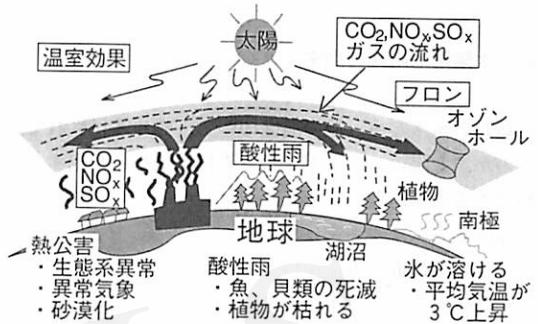


図1. 化石燃料消費が地球環境に与える影響。

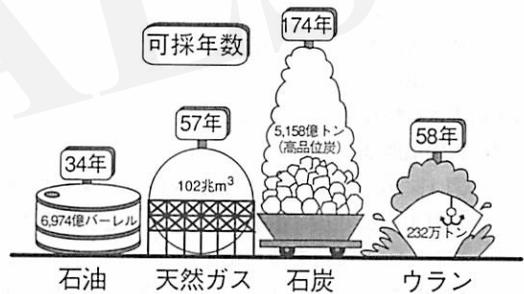


図2. 世界のエネルギー資源確認可採埋蔵量。

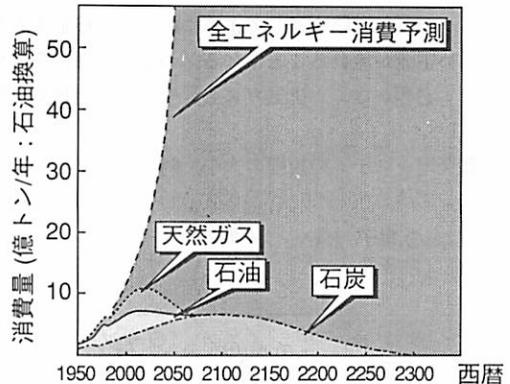


図3. エネルギー消費の内訳 (概念図)。

[†] 本稿は1992年10月6日に理化学研究所で行なわれた第2回沙漠工学講演会における講演の要旨である。

* 三洋電機株式会社 SANYO Electric Co., Ltd.

ギー源である太陽エネルギーが、全エネルギーの大部分を占めるような状況を21世紀中には実現しなければならない。

エネルギーが現代の高度な技術文明を支え、また技術の進歩が新たなエネルギーの開発を促進するといったように、技術高度化の歴史は、エネルギー源開発の歴史でもあった。次の世代に豊富で安全なエネルギーである太陽エネルギーの利用技術を残していくことが、化石燃料を大量消費してきた私達の義務とも言えるであろう。

3. 太陽電池時代の到来

新しいエネルギー源の開発の中で、特に注目されているのが、太陽のエネルギーから直接電気を取り出すことができる太陽電池である。

(1) 太陽エネルギーは

- ①無限に近い寿命を持つ
- ②膨大なエネルギーを地球に与えている。太陽光は地球に毎秒約40兆kcal降り注いでおり、約60分間のエネルギーで、全世界のエネルギーをまかなうことができる。
- ③無公害、クリーンである。
- ④使う場所でエネルギーが得られる。

などの大きな特長をもっている。

(2) 太陽電池は

- ①図4に示すように、PN接合を持つ半導体に光が入射すると、⊕の電荷を持つ正孔（電子の抜けた穴）と⊖の電荷を持つ電子が発生し、それらがPN接合部で分けられ、一方の電極（正極）側に正孔が、他方の電極（負極）側に電子が集まる。そこで、この両電極を外部回路で結ぶと、負極の電子が外部回路を通じて正極に向かって移動するため電流が流れることになる。つまり、燃料を燃やす必要がなく、排気ガスも発生せず、可動部もない。
- ②発電システムの規模の大小、例えば1,000kWと

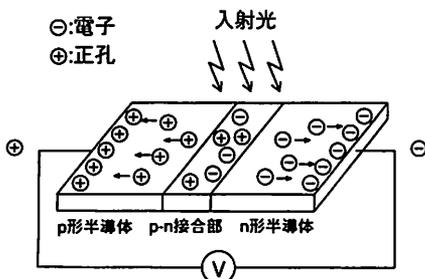


図4. 太陽電池の発電原理.

表1. 太陽電池の歴史.

1954	単結晶太陽電池 (Pearson)
1956	GaAs太陽電池 (Jenny)
1958	太陽電池積載の衛星を打ち上げ (Vanguard 1.U.S.A)
1962	単結晶太陽電池搭載ラジオ発振
1973	オイルショック
1974	サンシャイン計画がスタート
1975	グロー放電によるアモルファスシリコン(a-Si)の研究
1978	蒸積型a-Si太陽電池を開発 (森野) a-Si膜の連続分離形成法開発
1980	世界で初めてa-Si太陽電池内蔵の電卓を発売 (三洋、富士)
1981	Pタイプa-SiC太陽電池 (浜川)
1982	a-Si太陽電池内蔵の懐中時計を発売 (三洋)
1983	a-Si太陽電池によるアモルトン充電器を発売 (三洋)
1984	a-Si太陽電池内蔵のアモルトンラジオを発売 (三洋) 電力用a-Si太陽電池モジュール発売 (三洋)
1986	西国電力西条太陽光発電所1MWシステム (NEDO)
1988	六甲アイランド200kWシステム完成 (NEDO)
1989	植材一体形太陽電池 (スレート式) 開発 (NEDO、三洋) サッシ一体型ウィンドベンチレータ開発、商品化
1990	ソーラーガイドポストを開発 (三洋) ソーラーボート“アモルトンフレーザー号”を開発 (三洋) 超軽量フレキシブルアモルファス太陽電池“アモルトンフィルム”を開発 アモルトンフィルムをソーラーブレインに応用し、米大陸横断 (三洋)
1991	ソーラーエアコンを開発 (三洋) マツダが高級車“セレンティア”にシースルーサンルーフを搭載し、発売
1992	ハイブリッドカー“MIRAI-1”を開発 (三洋) ソーラーエアシップ“Solar Egg”を開発 (三洋) ソーラーエアコン受注販売開始 (三洋)

1Wの発電システムでもその発電効率が変わらない。

- ③曇りのような拡散光でも発電する。
- ④寿命が半永久的である。

のように、地球にやさしい、理想的な発電システムである。

4. 太陽電池の開発の歴史と現状

表1に示すように太陽電池の歴史は古く、1954年米国のピアソンなどによって発明された。そして1958年、人工衛星（米国バンガード1号）に搭載され、通信用の電源として使用された。その後、無線中継所、灯台などに応用されたが、その価格が高かったため広く普及するにはいたらなかった。しかし、オイルショック（1973年）以降、その優れた特長から代替エネルギー源として注目され、米国ではエネルギー省により、日本では通産省工業技術院のサンシャイン計画のもと、技術開発が進められた。

太陽電池は用いる材料の種類により、シリコン、化合物半導体、有機半導体など、また、材料の結晶形態により、単結晶、多結晶、アモルファス等、またそれらの組み合わせにより多数に分類される。図5に代表的な太陽電池の製造方法を示す。

単結晶シリコン (Si) 太陽電池は、最初に開発が進んだ太陽電池で、変換効率 (入射エネルギーを電気エネルギーに変換できる割合) も小面積では 20% 以上の高いものが得られている。しかし、製造工程が複雑で、コストが高いという欠点を持っている。

これを改善するため、溶融したシリコンを鋳型中で固化し、これをスライスしてウェハとする多結晶 Si 太陽電池が開発された。この多結晶 Si 太陽電池は、単結晶 Si 太陽電池に比べ変換効率は 16% 程度と多少劣るものの、コストの低減が可能である。

アモルファスシリコン (a-Si) 太陽電池は、1976 年に開発された新しい太陽電池で (CARLSON AND WRONSKI, 1976), 図 5(c) に示すように、①製造工程が簡単、②製造エネルギーが少ない (300°C 以下)、③使用材料が少ない (厚さ 1 μ m 以下、結晶系シリコンでは 300 μ m)、④ガス反応であるので大面積化・曲面化が容易、⑤1 枚の基板から実用的な高い電圧が取り出せる (集積型太陽電池) (桑野, 1978), などの低コスト太陽電池として優れ

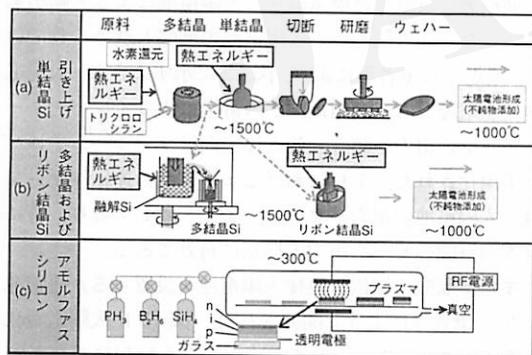


図5. 各種 Si 太陽電池の製造方法.

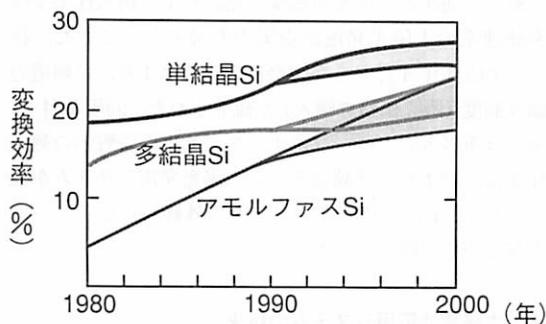


図6. 変換効率向上の推移.

た特長を持っている。

太陽電池の変換効率の向上は、その実用化にとって極めて重要である。図6に示すように、この10年間に変換効率は1.5~3倍に増加し、性能としては十分電力用に使えるレベルに到達した。今後は更に低コスト化のために性能向上が図られるであろう。

太陽電池の生産量は、図7に示すようにアモルファス太陽電池が世界で初めて量産され、電卓に応用された1980年から急速に伸び、この10年間に約20倍に増大してきた。1991年には、日本における太陽電池の生産量は年間1.99万kW、世界の生産量も5.53万kWへと増加し (MAYCOCK, 1992), 日本は米国とともに世界的な太陽電池の供給国となっている。

現在、この需要拡大による量産効果と太陽電池の性能の

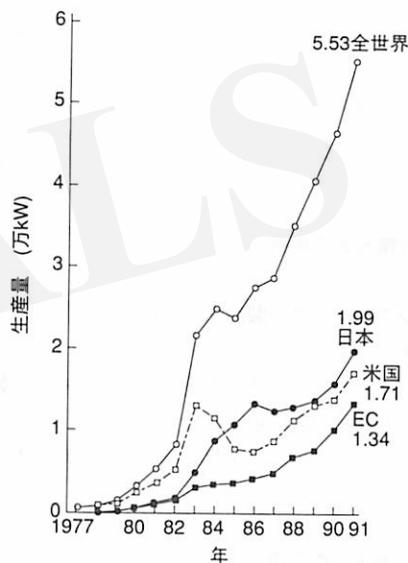


図7. 世界の太陽電池生産量推移。
(フォトボルタイクエネルギーシステムズ社による)

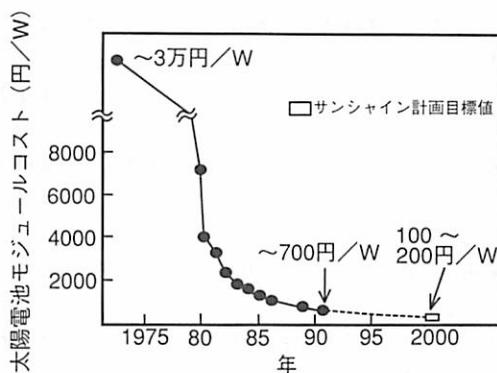
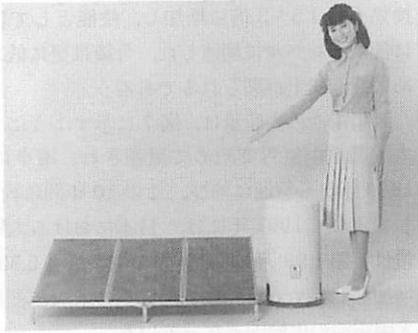


図8. 太陽電池コストの推移と予測.



(a)ソーラーポンプシステム



(b)ソーラーガイドポスト

図9. 太陽電池の独立電源への応用例。

向上や製造技術の進歩により、太陽電池のコストは、当初1 Wpあたり数万円していたものが、図8に示すように約1,000円/Wpと10分の1以下まで低下してきた。

5. 太陽電池の応用例

1) エレクトロニクス製品への応用

太陽電池による太陽エネルギーの利用は、今まで主に電卓、ウォッチ、ラジオなどのエレクトロニクス製品を中心にした民生用製品の電源として、一部独立電源や電力用システムへの広がりを見せながら需要が拡大してきた。

2) 独立電源への応用

古くは、山頂の無線中継局や灯台など、人が容易に行けない場所での各種の電気設備用電源として、最近では街路灯や図9に示すポンプシステム、ソーラーガイドポストなど、数十～数kWの太陽光発電システムが、すでに実用化されている。また移動体への応用として図10に示すように、ソーラーボート、ソーラープレーンも筆者等によって開発されている。このソーラープレーンは、超軽量フレキシブル a-Si 太陽電池を搭載し、1990年夏、太陽電池の動力としては世界で初めて、北米大陸横断に成功した。ソーラー飛行船も同じく、フレキシブル太陽電池を動力源とした応用例の一つで、熱い注目を浴びている。

また、1991年5月には、筆者等によって開発されたシースルー太陽電池を、サンルーフに取りつけた乗用車がマツダ(株)より市販された。更に最近では、図11に

示す近未来型クリーンエネルギー車の新しい設計コンセプトに基づいた、太陽電池、燃料電池、ニッケルカドミウム電池をエネルギー源にしたソーラーハイブリッドカーが開発された。

3) 個人住宅への展開

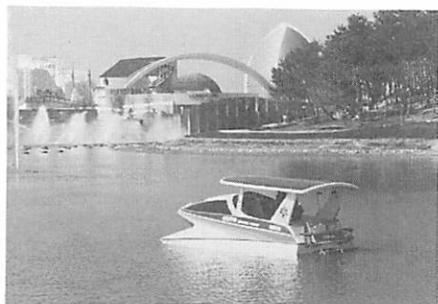
展根裏に設置した換気扇を、太陽電池によって動かすといった、個人住宅への太陽電池の展開も進められている。最近では筆者等により、図12に示すような、太陽電池を主電源とし、商用電源との併用によりインバーターエアコンの電力を賄う、個人住宅向けソーラーエアコンが実用化された。1日におけるエアコンの運転パターンは、太陽電池の出力パターンによく一致しており、特に夏季の昼間のピーク電力の抑制に有効である。

また、家庭の屋根に直接太陽電池を設置する太陽電池瓦が、筆者等によって開発された。図13に太陽電池和瓦を、図14にスレート式太陽電池瓦を屋根に葺いたモデルハウスの外観写真を示す。

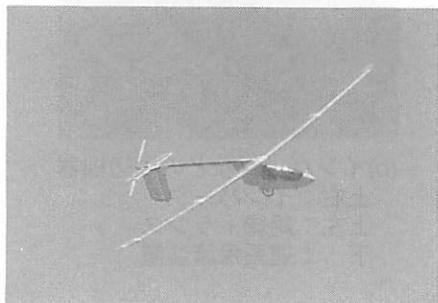
最近、通産省による法制度の見直しで、個人住宅での系統連系の太陽光発電が現実のものとなってきた。特に、平成4年4月から電力会社の英断により、余剰電力購入制度(販売価格で購入)が確立された。同年7月31日には筆者等のグループによって、大阪府交野市の個人住宅に、日本初の逆流ありの太陽光発電システムが設置された。図15にその個人住宅の外観およびインバータなどの周辺機器を示す。

4) 太陽電池応用システムの将来

(1) 地域発電



(a)ソーラーボート



(b)ソーラープレーン



(c)ソーラー飛行船

図 10. 太陽電池の移動体への応用例.



図 11. ソーラーハイブリッドカー“MIRAI-1”.

個人住宅の屋根への太陽電池の設置が進む中で、空き地である山の斜面や海岸線などに太陽電池モジュールを

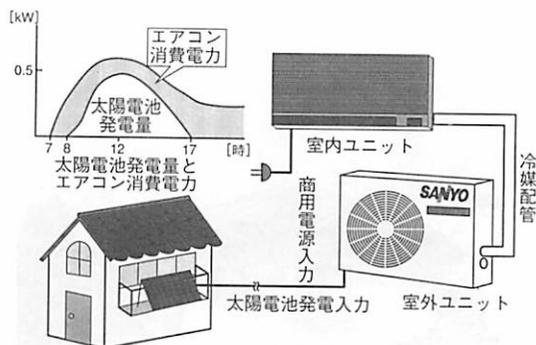


図 12. ソーラーエアコンシステム.

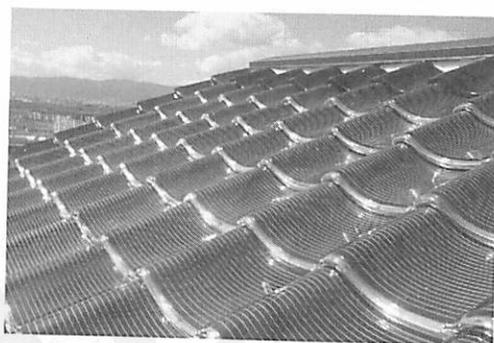


図 13. 太陽電池和瓦.

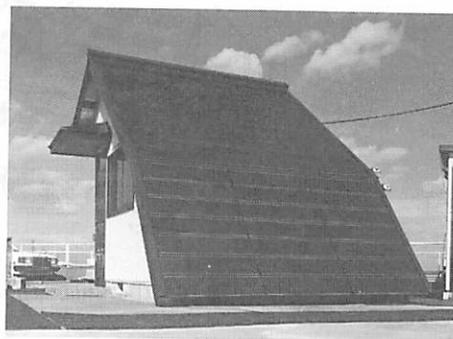


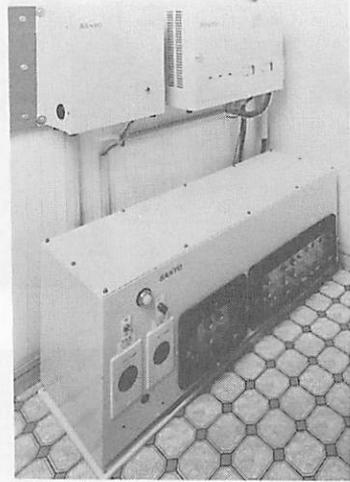
図 14. スレート式太陽電池瓦.

敷き詰めることも考えられている。それらの電力は、図 16 に示すように電力系統線と接続され、昼間は太陽光発電の余剰電力を系統送電線に送電し、夜間は逆に系統送電線から電力を送ってもらうシステムが太陽光発電によるエネルギーの一般的な利用形態として広く普及すると考えられている。

図 17 に、愛媛県の西条市に建設されている 1,000 kW の太陽光発電システム、図 18 に、神戸市六甲アイランドに建設された 500 kW の太陽光発電システム、図 19 に、米国で建設された 6,500 kW の太陽光発電シ



(a)外観



(b)インバータなどの周辺機器
 上右：インバータ
 上左：絶縁トランス
 下：連系保護装置

図 15. 日本初の逆潮流ありの太陽光発電システムを設置した個人住宅（大阪府交野市）.

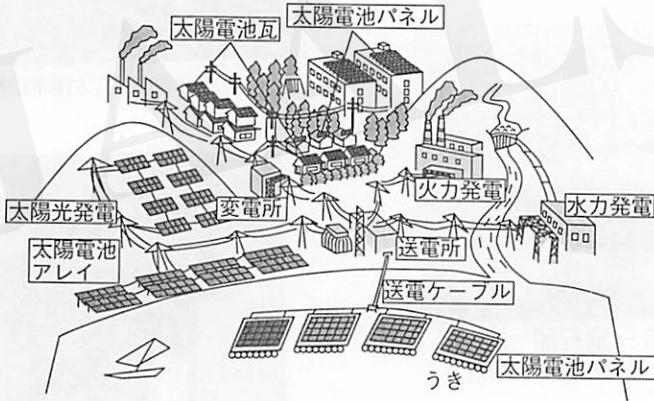


図 16. 山の斜面，海岸線を利用した太陽光発電システム.

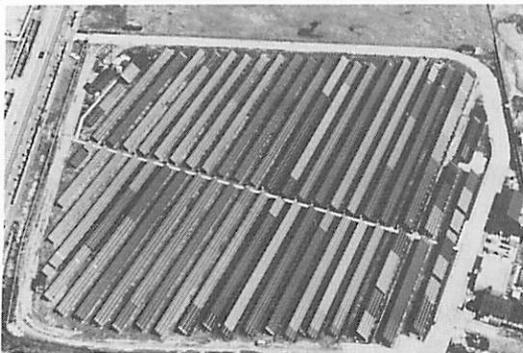


図 17. 四国電力(株)の西条太陽光発電所.



図 18. 関西電力(株)六甲新エネルギー実験センター.

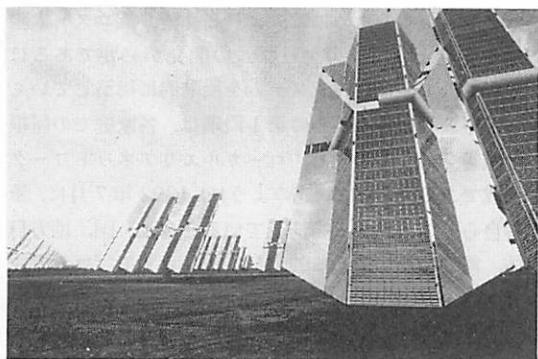


図 19. 米国シーメンスソーラー社による 6,500 kW 太陽光発電システム。

テムを示す。いずれも電力会社の系統と連系されており、すでに一般市民の電力の一部を賄うテストが進んでいる。

(2) 世界のエネルギーを太陽電池で賄う！

太陽のエネルギーは膨大である。そこで、太陽電池を用いた太陽光発電システムで全世界のエネルギーを賄うことを仮定し、概算を行なった。

世界の一次エネルギー消費量は、西暦 2000 年には、石油に換算して、約 140 億 kl/年と計算され、これを賄うための太陽電池の設置面積は、太陽光発電システムの変換効率を 10% と仮定すると、807 km×807 km の面積で十分である。ちなみにこれは、地球の全沙漠面積の約 4% にすぎない。

6. 全世界エネルギー供給システム——ジェネシス計画とシルクロードジェネシス計画——

最近、科学技術の分野で大きなブレイクスルーが起こった。超電導材料分野での高温超電導の発見である。この発見により、太陽光発電を全世界規模で利用できる可能性が出てきた。

まず、地球上の各地に、特に沙漠など太陽光が豊富な非利用地に太陽光発電所を分散配置する。その際には、太陽電池パネルの影、及び余剰電力を用いた緑化が可能となる。また、日本のように人口が密集し、土地が高価な地域には、先述の太陽電池瓦を用いる。そしてそれらの発電所を超電導ケーブルで結び、図 20 に示すような全世界のネットワークができれば、昼の地域から夜の地域へエネルギーを輸送できる。これが、筆者等が提案した GENESIS (Global Energy Network Equipped with Solar Cells and International Superconductor Grids) 計画である(桑野, 1990)。この GENESIS (英語で創世記の意味) 計画の実現には、より高性能、低コスト太陽電池の開発と、超電導ケーブルの開発が必要である。

この GENESIS 計画を、中国西部の沙漠に適用しようという提案がなされている(西岡, 1992)。“SILK ROAD GENESIS”と呼ばれるこの構想は、図 21 のように北緯 40 度の沙漠地帯に、東西に連なる太陽光・熱発電ネットワークを建設し、沙漠緑化、農業開発、産業開発などの多目的なクリーンエネルギー源としようとするものである。具体的には、

- (1) 地球環境保全……沙漠緑化、化石燃料の削減

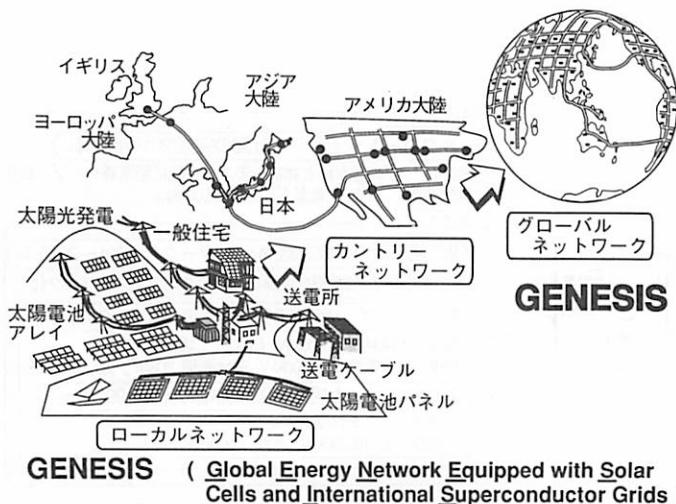


図 20. 太陽電池と超電導ケーブルによる世界的太陽光発電システム。

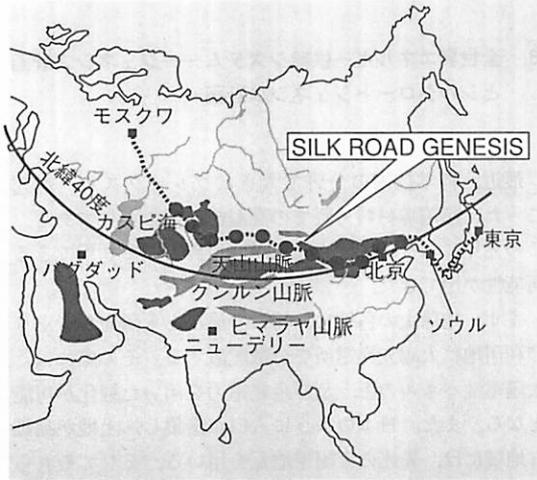


図 21. シルクロードジェネシス.

- (2) 地域振興………未開発地域へのエネルギー供給
 - (3) エネルギー輸出…需要地の電力ピーク量の削減
- を目的とし、図 22 のように 4 つの段階に沿って、実現を目指していこうとしている。

1 つの発電プラント群は、1 Unit が 20 万 kW の太陽光発電基地を 10 Unit 連携して構成されたネットワークで、北京からモスクワまでの延長 10,000 km の間に 50 の発電プラント群を配置し、電力網で連携する。総発電量は、1 億 kW になるという。かつて西洋と東洋を結ぶ経済文化の往還路であったシルクロードを、エネルギーの動脈として復活させ、沙漠に緑の回廊を創出しようとするものである。

7. おわりに

引用文献

GENESIS 計画というグローバルな太陽光発電ネット

CARLSON, D.E. AND WRONSKI, C.R. (1976): Amorphous sili-

ワークを実現するためには、より高性能、低コスト太陽電池の開発と、超電導ケーブルの開発が必要であるほか、以下のような送電システムを段階的に構築していくことが望まれている。その第 1 段階は、各家庭での屋根瓦発電等を第一歩とする、ローカルエリアネットワークの形成である。すでに前述のように、1992 年 7 月に、筆者等自らそのスタートを切っている。今後、国、地方自治体、電力会社等による強力な支援によって、ローカルエリアネットワークが早期に実現することを願っている。

その次の段階は、世界の各地の太陽光発電基地群を結ぶカントリーネットワークである。例えば前述の沙漠地域に対する SILK ROAD GENESIS 計画のように、世界の各地に、その地域に適した太陽光発電ネットワークを建設することである。

そして、最終の段階では、全世界を結ぶグローバルネットワークへ展開する予定である。このように段階を経て、太陽光発電を展開させていけば、GENESIS 計画がより身近なものになり、クリーンで膨大な太陽エネルギーを利用できる時代の到来が早期化することであろう。

謝 辞

本報告の一部は、通産省工業技術院サンシャイン計画の一環として、NEDO から委託され実施したものであり、関係各位に感謝する。また、SILK ROAD GENESIS は、エンジニアリング振興協会産業研究部会による提案であり、本報告への引用許可について、関係各位に感謝する。

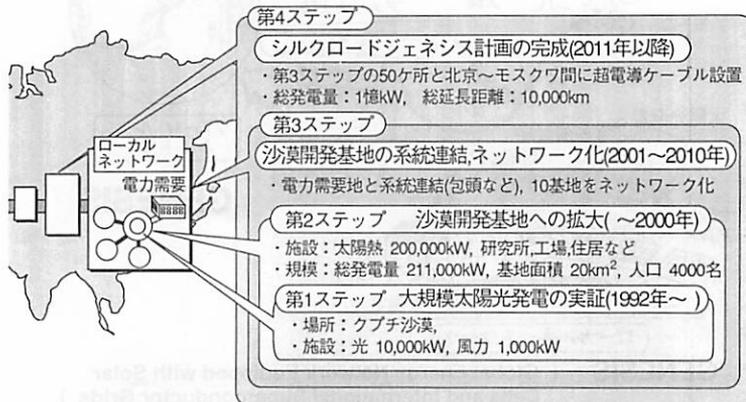


図 22. シルクロードジェネシス計画の実現に向けてのステップ.

cone solar cell. *Appl. Phys. Lett.*, 28: p. 671.

桑野幸徳 (1985): 『太陽電池とその応用』パワー社.

桑野幸徳 (1990): グローバルエネルギーネットワーク——ビジネス計画の提案——, 『サンシャインジャーナル』11-1, p. 1.

Maycock, P. D. (1992): Photovoltaic News.

西岡 哲 (1992): 中国の沙漠における太陽エネルギー開発の提案——Silk Road Genesis——, 『サンシャインジャーナル』13-1, p. 8

質疑応答

Q: 太陽電池に関して大変幅の広いお話を、わかりやすくお話しいただき、ありがとうございました。私が太陽電池について疑問に思っていることは、電池の受光面が沙漠の砂嵐などで傷ついた時、電池の発電能力にどんな影響がでるかということです。何か具体的な知見をお持ちでしたら、お教えいただければ幸いです。

A: 太陽電池の受光面は強化ガラスでカバーされているので、物理的な摩耗にはプラスチックよりはずっと強い構造になっています。また、エネルギーの受光原理は散乱光を利用する方式なので、電池の素子に光が届きさえすれば途中の経過は問いません。エジプトで利用されている太陽電池の使用実績としては、「キズ」よりも表面を覆う「ほこり」で、能力が20%程度ダウンすることもあるようです。砂嵐の程度にもよりますが、設置して4~5年間は摩耗に関しては問題がないものと考えています。実際には太陽電池そのものよりも、電池を支える架台や周囲の配線関係の方が先につぶれてしまうようです。

Q: 私のアフリカでの経験でも、太陽電池は設置直後の能力の20%減くらいで止まるようです。また、今後の太陽電池の産業規模を、世界全体でどのくらいに見積もっておられますか。

A: 社内の試算では「2京円」くらいと考えています。なにしろ西暦2030年頃には、今の化石エネルギーによる電力供給は限界に達して、その後をどうするの

ですか、という問題が基本的にあります。日本国内での太陽電池の発電量は、最大に見積もって現在5,000 kW/Yearです。一方、火力発電は一基で50万kWのレベルに達しているので、太陽電池も100倍のスケールで生産できれば、もっと安いものになるかと思えます。また、日本の電力供給には戦時中の国家統制の流れが残っており、kWあたりの価格で比較すると、アメリカの電力は日本のその約半分くらいです。今後、国内の公共施設が太陽光発電に取り組んでくれるといいんですがね。

Q: 今日のお話は、太陽光発電が砂漠でのエネルギーの供給源として単独に存在するように伺いましたが、砂漠の緑化というものを全面に出して考えた場合に、太陽光発電と逆浸透圧法による淡水化、さらに植樹を組み合わせた「総合システム」として持続型の砂漠の緑化システムが考えられませんか。

A: おっしゃるとおり、太陽電池と逆浸透圧法を組み合わせたプロジェクトがアフリカで計画されています。対象を沙漠に限定したときは、望まれているものはエネルギーではなくて、水なのでしょう。

Q: 砂漠は今後世界のエネルギー基地になるであろうし、そのためには都市建設、交通問題など総合的なアーバンダイナミックスの観点を導入していくべきではありませんか。

A: おっしゃるとおりで、その方向で「エン振協」さんが何か計画をお持ちのようです。

Q: 太陽電池の中でも、アモルファス型にはまだ実際には問題が残っているとききますが、いかがでしょうか。

A: 自分の家に設置した太陽電池は、ポリ型とアモルファス型が50:50です。それぞれの特色によって、製品も今後多様化していくと考えています。限られた面積で大電力が求められている「ソーラーカー」では、単結晶型が使われているのもその良い例でしょう。

—沙漠シリーズ (1)—

沙漠の空間構成

沙漠 (砂漠)・Desert をめぐる用語とそのイメージ

堀 信 行*

—Seminar on World Deserts (1)—

Spatial Organization of Desert: Terminology on Desert

Nobuyuki Hori*

1. はじめに

日本に沙漠は存在しない。そのため、日本人は、沙漠という異境への憧憬を疑似体験するために、海岸砂丘に出かける。

このように日本人には馴染みのない沙漠であるが、地球上の陸地に占める面積は広い。たとえば雨の降らない極乾燥地 (ソーンズウェイトの湿潤指数が $-57 \sim -60$) の面積は、地球の陸地の総面積 ($148.890 \times 10^6 \text{ km}^2$) の約 4% あり、沙漠 (前出指数が $-50 \sim -57$) と半沙漠 (前出指数が $-40 \sim -50$) をあわせた面積は、約 15% を占める。沙漠の総面積は、約 $30 \times 10^6 \text{ km}^2$ で陸地の総面積の約 19~20% に達する。これは、アフリカ大陸の面積 ($30.313 \times 10^6 \text{ km}^2$) にほぼ匹敵する広さである (Meigs, 1953; 遠藤, 1981; 遠山, 1993, p. 2)。乾燥地の定義にもよるが、半沙漠も含む沙漠の総面積は、世界の陸地の 33% にも達するともいう (大森, 1992, p. 48)。

地球上にかくも広くひろがる沙漠について、日本人の知識はきわめて限られている。本号からはじまる世界の沙漠シリーズは、沙漠に関するわれわれの知識の空白を埋めることになろう。沙漠シリーズの第1回として、本稿では、次の諸点を目的に論を展開することにする。

第一の目的は、「沙漠」と「砂漠」をめぐる用字の問題である。「日本沙漠学会」の名称をはじめ、「沙」と「砂」の文字は、いかなる理由で、どのような使いわけがなさ

れているかについて、用字と原意について検討を加えることである。これに関連して、英語の desert をはじめ漢字以外の言語についても、その語源と原意について検討を加えることである。さらに、「沙(砂)漠」や desert に対するイメージの検討である。

第二の目的は、沙漠の空間構成の一般性を示し、その形成に関わった環境変動について論ずることである。

以上の検討から、沙漠につきまとう砂のイメージと沙漠の空間構成とのかかわりを指摘することである。

2. 「沙(砂)漠」をめぐる用字と原意をめぐる問題

「さばく」は、常用漢字では「砂漠」という文字が使われている。しかし、本学会の名称には、「沙漠」という文字が使われている。砂のかわりに沙の字を使用したことについては、次項で述べるように学会設立時に検討され、意図的なものであった。これに関連して、筆者は、沙漠と砂漠をめぐる用字の問題や、desert の語源について、その概要を簡単に述べたことがあるが (堀, 1993)、本章で少し立ち入って検討を加えてみよう。

1) 「沙漠」は「砂漠」

自然科学における沙漠地域は、乾燥気候下で植被のない裸地か、きわめて植被の乏しい地表景観を呈する地域に対して使用される。「沙漠」という文字は、常用漢字で「砂漠」と書く。本稿が掲載されている『沙漠研究』を発

* 東京都立大学理学部地理学教室

* Faculty of Science, Tokyo Metropolitan University

刊している「日本沙漠学会」は、意図的に「沙漠」という文字を避けているようである。

たとえば、日本沙漠学会の創立(1990年5月18日)された年の秋に開催された、第1回学術大会のシンポジウムの発表を中心に出版された本(門村・勝俣, 1992)の中で、日本沙漠学会の成立時に「沙漠」という文字に拘ったことが窺い知れる。本の冒頭に同学会の小堀 巖会長とピエール・ロニオン教授との対話「サハラとの30年」が掲載され、その中に次のようなやりとりがある(門村・勝俣, 1992, p. 17)。

司会:「日本で沙漠というと、普通「砂漠」と書いて砂のたくさんある所というイメージがありますが、お話を伺っているとどうも違うようですね」

ロニオン:「砂のある場所とは限りません。降水量が少なく、植生がないか少ない所、乾燥気候の地域の中でもとくに乾燥が厳しい所を言います」

小堀:「それで日本の沙漠学会では、「砂漠」という文字を使わず、「沙漠」としました。(以下略)」

また、本書のあとがきには、次のような見解も述べられている(門村・勝俣, 1992, pp. 248-249)。「本書では、サハラなどの“さばく”を言うには“沙漠”の語を用いた。“さばく”はその主たる成因を水が少ないことに求められることと、“さばく”には岩やレキからなるものもあり、砂だけの“さばく”はむしろ少ない、という理由から“砂漠”の語は用いなかった。これに対して、環境の荒廃現象をいう“さばくか”には“砂漠化”を用いた。この現象が、沙漠の拡大によってではなく、むしろ人間活動による植生の破壊などの多様な原因によって、比較的湿潤な地域の中でも起こる場合が多いからである」

以上の内容から「沙漠」の沙の文字は、「サンズイの水が少ない」という意味になり、砂のイメージが避けられるので、砂漠より沙漠の字がよいという考えが読み取れる。

このような考えは、現在かなり一般的にゆきわたっているようで、さまざまな普及書やエッセイに見いだせる。戦後に出版された沙漠関係の出版物にもその例があるが、ごく最近出版されたものに限って、若干の事例をあげてみよう。

まず、沙漠の概説書(赤木, 1990, p. iii)では「第二次大戦後、「さばく」の漢字としては「砂漠」が使用されている。しかし、「砂漠」はしばしば「砂沙漠」の意味に解され、砂沙漠でない沙漠を表現するために「土漠」、時には「岩漠」の語が使用されたことがある。本書では「さばく」の間違ったイメージを避けるため「沙漠」の語を使用する」と述べ、沙の字に乾燥の意味内容を求めている。

る。

また、地球環境に関する普及書(大浜, 1991, p. 84)では、「砂漠は、本来沙漠という字だったのが、戦後の漢字制限で、使えなくなったのである。「沙」という字は、文字どおり「水(さんずい)が少ない」ことを意味している。だから、今の「砂」の字からいえば、文字どおり「すな」だから、砂漠は砂でできていると思うのは当然かも知れない」と述べている。さらに、遠山(1992, p. iv)の近刊書のまえがきでも、「なお本書では「砂漠」とは書かず「沙漠」という表記を使っている。実際の沙漠のうち砂の沙漠は20%以下であることと、水(サンズイ)が少ない土地が沙漠であるという本義にもなっているからである」と述べている。

以上の論理と同じ文脈にたつて大森(1993, p. 47)は、「サハラ沙漠やゴビ沙漠の「沙漠」という字は、常用漢字の使用制限により教科書などでは「砂漠」と書くことが多いが、本来は「沙漠」と書かれる。水が少ないため植生が乏しい荒涼とした不毛の土地を意味しており、砂丘の広がっている土地のみをさす言葉ではない」と述べ、沙は乾燥を意味し、砂の意味はないという考えを踏襲している。

ところで、沙漠の沙は、漢字として上記のような乾燥の意味をもっているのであろうか。風土論では基本的な議論を展開した和辻哲郎は、沙漠について次のように述べている。「支那語としての沙漠は何を意味するか。現代の支那人は、日本からの逆影響によって沙漠を desert の同義語とする。しかし古き用法においては「沙漠」はゴビの沙漠をその直感的内容とする言葉であった。「沙」はしばしば「流沙」の意義に用いられ、「漠」も亦北方の流沙を指す(和辻, 1930, pp. 227-228)と。この内容からは、沙には乾燥の意味はないように思われる。そこで、漢字としての沙漠の沙の意味をより明解にするためにいくつかの漢和辞典によって検討してみよう。

まず、『角川・新字源』では、「沙」は、「小さいつぶの意」とある(小川ほか, 1968, p. 561)。『角川・漢和中辞典』では、沙の解字は、「水と少(細かい意)とからなり、すな地の意。少の転音が音を表す。砂に通用する」である。また字義は、「①みぎわ、砂のある浜、②すなはら、沙漠、③すな、いさご、まさご、細かい石、同/砂、④ごく微細なものの称、⑤よなげる(ぐ)。水にいれて細かいものなどを淘(ゆ)り分ける」とある(貝塚ほか, 1959, p. 593)。

『学研漢和辞典』と『漢字源』では、沙の解字は、「水+少(小さい)会意文字で、水に洗われて小さくばらばらになったすな」であるとし、意味は、「①すな、まさご、②すなはら、③よなげる、④すなのようなきわめて細か

い物に冠することば ⑤ざらざらしているさま」として
いる(藤堂, 1978, p. 712; 藤堂ほか, 1988, p. 666)。

以上列記した辞書にみる沙の説明は、水によって小
さくなったもの、すなわち「すな」の意という解釈に立
脚しているといえよう。これに対し下記の辞書では解釈
の視点が少々異なっている。

『新釈漢和辞典(新修版)』では、沙の解字は、「音符の
さんずい(水)に、音符の少(砂の意)を加えて、水辺
の「すな」の意を示す」とある。字義は、「①すな。②す
なはら。さばく。③みぎわ。水べの砂地。④よなぐ。水
中で細かいものを洗い分けたり、悪いものを洗い分け
たりすること。沙汰」とある(吉田, 1969, p. 559)。

『新選漢和辞典』(第5版)では、沙の解字は、「水と少
を合わせた字で、水が少なくなって、砂が表れているこ
とを示す。一説に、少は、砂粒の散らばっているさまを
という」と述べている。意味は、「①すな。②みぎわ。す
なはら。③すなはら。さばく。④よなぐ」とある(小林,
1987, p. 585)。

『大漢和辞典』では、沙の解字は、「水と少の合字。水
が少なければ砂が表れるから此の二字を会してすなの意
を表わす」となっている(諸橋, 1957, p. 993)。

『広漢和辞典』では、沙の解字は、「水+少。水の中の
小さな石の意」としている(諸橋ほか, 1982, p. 789)。

上記の辞書によれば、沙とは水が少なくなって水中に
あったすなが表われるという解釈に立脚している。以上
みたように沙の字の解釈は、大きくみると二つの立場に
分かれている。一つは、水によって小さくなったもの
としての「すな」とする立場と、水が少なくなって水中に
あったすなが表われるという立場である。前者は、すな
の形成過程に注目し、後者はすなの存在する場の状態に
注目している。

後者の水が少なくなって、というあたりに乾燥条件を
期待するむきもあろう。しかし、水が少なくなるのは、
流出も含めさまざまなプロセスが考えられ、乾燥とは限
らない。また、この点は、解釈の主眼ではない。いずれ
にせよ、沙が砂の意味である点は共通している。従って
砂は、沙の俗字で、同じ意味であることが判明する。

ついでに、沙漠の「漠」の解字は、「水+音符莫(かく
れてみえない水)で、水がないこと」であり、意味は、
「①すなはら。水のない砂や小石の原。特に中国の西北方
にある砂や小石だけの原野をいう。②ひろい。③あたり
になにもなくてさみしいさま。④すなのようなきわめて
細かい物に冠することば。⑤ざらざらしているさま」と
いうことである(藤堂ほか, 1988, p. 714)。

すなわち、漠の字には、自然地理学的な定義に関わる
乾燥という意味内容が沙の字よりは強調されているよう

にみえる。中国の辞典にも desert の訳語は、「漠境、沙
漠、荒漠」(中国科学院南京土壤研究所編・農林水産技術
会議事務局訳編, 1979, p. 86)とある。とはいえ、和辻
(1930, pp. 227-228)も指摘しているように、漠にも砂
のイメージが依然として強く結びついている。

以上漢字としての沙漠の字を検討してみると、沙は水
が少ないという字の組合せでも、決して乾燥状態を直接
表現する字ではない。結局沙は、砂と同じ意味内容をも
ち、沙漠と書いても砂漠と書いても、質的な変化はない
ことになる。

2) Desert は沙漠か

ところで、沙漠は、英語や仏語で desert という。今日
われわれは、desert が沙漠であることを自明のこのよ
うにしてこの単語を使用する。名詞としての desert の
意味のひとつは、現在は確かにその通りである。いっぽ
う、desert は、自動詞や他動詞としても使われる。その
意味は、「(物を)捨てる、(場所・地位から)去る、(人・
主義などを)見捨てる、(兵士などが)脱走する」とある
(島村ほか, 1958, p. 234)。名詞として理解している
desert の意味とは、かなり趣を異にしていることがわか
る。

そこで、desert の単語の理解を深めるために、語源を
検討してみよう。たとえば研究社の『新英和中辞典』に
よれば、desert の語源の名詞の項には、[F→LL=ab-
andoned]とある。すなわち、この単語は、仏語から後
期ラテン語に入り、見捨てられたという意味である。動
詞の項には、[F→L: DE-, -sert (join)]とある。すなわち、
desert は、ラテン語から仏語に入り、除き去る・否定・
逆を意味する [de-] と、(join) すなわち、結ぶ・つなぐ・
参加するを意味する [-sert] とが一つの単語を構成して
いる。

さらに、The Oxford English Dictionary (以下、O. E.
D; SIMPSON and WEINER, 1933, Vol. 3, p. 240) と、The
Shorter Oxford English Dictionary (以下、S. O. E. D.;
ONIONS, 1973, p. 527) では、desert の語源は、次のよ
うに要約される。すなわち、desert は、去るとか、見捨
すを意味するラテン語の動詞 desere の過去分詞が、見捨
てられた、荒されたを意味する desertus である。その中
性化した名詞 desertum が、5世紀にラテン語訳された
ブルガタ聖書に使われ、それが9-15世紀の古期仏語に
desert として入り、さらに中世英語に入ったということ
になる。

以上のことをまとめると、desert の原意には、沙漠を
直接イメージできるような意味がまったくないことが判
明した。O. E. D. によれば、現在はその意味を失ってし

まったが、名詞としての desert の意味内容は、人の住んでいないいかなる地域にも広く使われ、その中には森林地帯も含まれていたという (SIMPSON AND WEINER, 1933, Vol. 3, p. 240).

とすれば、筆者はここで、熱帯の密林を意味する英語の jungle の語源について、すでに述べたことがあるが (堀, 1982), 改めて簡単に言及しておきたい。O. E. D. によれば、jungle は、もともとサンスクリット語で乾いた、乾いた土地、沙漠を意味する jangala が、さらにヒンディ語やマラーチ語に入って沙漠、荒地、森林を意味する jangal となり、それが英語に入ったものだという (SIMPSON AND WEINER, 1933, Vol. 5, p. 680)。かくして、森林と沙漠という互いに両極にある景観は、人間からみた場合に、人の住まない場所という共通の意味をもつことになる。

さらに思いをめぐらせて、人間がまったく手を加えていない空間ではなく、土地利用のあと放棄して立ち去った場所を考えてみよう。土地利用の性格と程度にもよるが、乾燥した地域と湿潤な地域とでは、土地利用跡地の植生の回復の程度は生態的な環境条件によって著しく異なったものになる。現在みる森林景観のほとんどは、人間によって攪乱を受けた二次林・多次林であるといっても過言ではない。そして、ジャングルと沙漠は、湿潤から乾燥までの生態的な環境条件を両極として歴史的に人間の干渉を受けながら形成されてきた景観である。このような見方は、ジャングルから沙漠までを一連の景観スペクトルとしてみる視点を生むことになる。

3. 沙漠のイメージ

沙漠と砂漠は、前章の検討でいずれも砂(沙)に焦点をあてた用語であることがわかった。また英語の desert の原意は、ラテン語起源の言葉で、「見捨てられた、または放棄されたところ」という意味であった。したがって、desert には、乾燥条件とか、沙漠を示唆する意味はない。それゆえに、既述のようにかつては森林地域に対しても desert は使われた。漢字にせよラテン語・英語にせよ、いずれの地域においても沙漠や desert という用語を生み出した生活者の価値観や判断が投影されていることが理解される。そこで本章では、沙漠という場所に人間はどのようなイメージを抱き、いかなる姿勢を示してきたのかという主題にさらに踏み込んで考えてみたい。

1) 「憧憬の沙漠」と「流沙の怖い世界」：日本と中国の沙漠

沙漠のイメージはひとつではない。きわめて限られた

例であるが、沙漠のない日本と、国土に沙漠をもち沙漠という漢字を生んだ中国を取り上げてみたい。

まず、日本人の沙漠観、沙漠のイメージから取り上げてみたい。筆者は、授業やさまざまな会合の機会を通じて収集した沙漠に対するイメージは次のようなものであった。ここに示すものは、「沙漠といわれて、連想するものは何ですか」という質問に対して、回答者たちが列挙したおもなものを 13 項目に分類したものである。

1. 政治・経済：湾岸戦争、石油。
2. 気候：熱い(暑い)、乾燥、砂嵐、日較差が大きい、太陽、風。
3. 風景：砂のある風景、砂丘、砂紋、オアシス、植物が殆どない(岩肌、砂、礫)、岩山、塩湖、日干しレンガの家、月夜。
4. 生物：ラクダ、サソリ。
5. 人間：遊牧民、キャンプ、キャラバン、王子さま、お姫さま。
6. 遺跡：ピラミッド。
7. イベント：パリ・ダカ(パリ・ダカール自動車ラリー)。
8. 映画：「アラビアのローレンス」、「敦煌」。
9. 歌の題名：「月の沙漠」、「マラケシュ」(歌手：松田聖子)、「東京砂漠」(歌手：前川清とクールファイブ)、「サンド・ページュ」(歌手：中森明菜)、「キャラバン」(ジャズ奏者：デューク・エリントン)。
10. 探検：ロプノール、さまよえる湖(スウェン・ヘディン)。
11. 地名：サハラ、サウジアラビア、ゴビ。
12. 色：黄色、黄土色。
13. 小説：『砂の器』・『砂漠の塩』(松本清張)、『砂の女』(安部公房)。

これらの単語群は、想像以上に多様な世界を表現している。とはいえ、聴き取りを通じてわかることは、いずれの回答者も世代差や性差の別なく、まずは見渡す限りひろがる砂ばかりの風景を前提として考えていたことである。たとえば、加藤まさを作詞、佐々木すぐる作曲の有名な童謡「月の沙漠」をテーマに藤城清治が描く幻想的な影絵「遠く、はるか彼方へ」(藤城, 1978)などは、砂丘の続く日本人の沙漠の原風景といえよう。沙漠を実感できない日本人にとって、異界としての沙漠は、恐怖の場所というより、詩的な憧憬をかきたてる絵画的な場所のようである。

このような背景があるためか、日本人の書く沙漠の解説文には、しばしば枕詞のように「砂のイメージだけで沙漠を考えてならない」と注意を喚起する言葉が述べら

れている。たとえば、森本哲郎は、「砂漠というと、私たち日本人はすぐに砂丘を思い浮かべる。あるいは、空と砂がひとつに溶け合う果てしない光景を思い描く。たしかにそれは砂漠のひとつの情景ではある。ではあるが、それは砂漠のほんの一部にすぎない」と述べている（森本、1976, p. 86）。

さらに小堀 巖は、「日本人における沙漠観」について、牧口常三郎の『人生地理学』の次の一節、「志賀いわく、沙漠は草樹ほとんど無く、水ほとんど無き砂礫の大海なり」を引用したあと次のように論じている。すなわち、「明治36年に出版された牧口常三郎の『人生地理学』は、日本の地理教育史の上でも見直されるべき古典の一つである。その中で、志賀いわくという但し書きの沙漠の解説は、まことに簡明に沙漠の特性を説明している。また、砂漠と書かず沙漠としたところは、著者として私のもっとも欣快とするところで、砂漠という書き方から、砂漠=砂沙漠の印象は、長い間（いや今日にいたるまで）日本人の沙漠観を毒してきたものといえよう」と述べている（小堀、1973, p. 11）。

ここで小堀が、「砂漠という書き方が、長い間日本人の沙漠観を毒してきた」といささか強い調子で述べている部分を知るひとつの資料として、幕末から明治にかけて出版された英和辞書のみをみよう。まず、幕末に訳出された辞書（杉本、1981）には、名詞としての desert を「荒地」（同、p. 23）や「沙漠」（同、p. 254）と訳している。当時、沙漠の沙は砂と理解していたであろうから、砂沙漠を考えていたと思われる。この他、ヘボン『和英・英和語林集成』（ヘボン、1980）では、desert の名詞を「スナバラ」（同、p. 819）、「スナワラ（砂原）」（同、p. 622）、「サバク（沙漠；a sandy desert）」（同、p. 516）、「スナッパ（沙場）」（同、p. 622）などと訳されている。たしかに日本人にとっては、沙漠に砂（沙）のイメージが強かつきまどっている。

次に国土の中に沙漠があり、沙漠の漢字を生んだ中国における沙漠観はどうであろうか。まず漢和辞典の沙漠と砂漠の説明をいくつか紹介してみよう。

たとえば、「沙漠」とは、「気候が非常に乾燥しているために、植物がほとんど生育せず、砂や小石だけの不毛の地、同/砂漠」（貝塚ほか、1959, p. 593）。また「沙漠」とは、「大陸中で、高温で雨が少ないため、植物が育たず、砂ばかりで広い野原となった地」（同、p. 769）とあり、いずれも砂の存在に焦点をあてている。

他の例でも、「沙漠」とは、「雨が少なく、砂や小石ばかりになった不毛の地」（吉田、1969, p. 559）であり、「沙漠」とは、「大陸で、雨が少ないために植物が育たず、いちめんすなばかりの平原となった地」（同、p. 695）

と述べ、砂に注目している。

また、和辻哲郎は沙漠について、「それは巨大なる砂海であり、その砂が狂風？によって巻き揚り流れるのである。支那人は、かかる風土の外に住む人間として、この風土をばただ外から眺めた特性に於て、即ち莫々たる砂海として把握した」と述べている（和辻、1930, p. 228）。

それでは、沙漠を外から眺めた特性で把握した中国人は、いかなるイメージを沙漠に抱いていたのであろうか。たとえば、古代の空想的地理書『山海経』（せんがいきょう）によれば、沙漠には人を食らうおそろしい怪物「アツウ」が住むと考え、沙漠を恐れていたことがわかる。このアツウは、唐の末期になると沙漠を流れる空想の流沙河に住んで人を食らう深沙神と重なっていく（中野、1991, p. 247）。中国人にとって沙漠は、川のように砂の流れる流沙の地であり、人間が立ち入るには躊躇される恐い空間であった。

2) 悪霊の棲む陰府（よみ）の世界：中東の沙漠

中東地域では、生活空間が沙漠と重なる。現代は、都市的な定住民が増え、遊牧民は沙漠の民としてみますます周辺的な存在になっている。しかし、かれらの沙漠に対する認識世界の奥行きは深い。アラビア語で沙漠に関わる語彙を抽出すると約90語余りに達し、その数の多さと内容の豊かさには目を見張るものがある。ただし、沙漠の代表的存在であるサハラ沙漠のサハラという地名はアラビア語で沙漠を包括し、かつ砂沙漠の平坦な沙漠をさす名称である。沙漠についての語彙が豊富とはいえず、砂沙漠のイメージが、アラブの沙漠観の前提になっているという（堀内、1979, pp. 31-32）。

アラブの沙漠の分類にみる弁別特徴は、荒寥とした沙漠・広大な沙漠・道無き沙漠・蜃気楼の出る沙漠・風吹く沙漠・危険な沙漠などである。最後の危険な沙漠は、蜃気楼の出る沙漠とか特異な風が吹く沙漠に砂の精ともいえるジン（精霊）信仰が重なった恐ろしい沙漠のことである（堀内、1979, pp. 26-31）。

なお筆者は、1993年1月にスーダンの紅海沿岸のエリトリア国境に近いアゲタイ周辺の乾燥した島で蛇に出会った。筆者に同行したスーダン人の一人がその蛇を殺そうとした時、地元の人たちは、「この蛇はジンだ。土地神だから殺すな！」と強く拒否した。ジンは沙漠の恐ろしい存在であるが、他方でこのように土地の守護神として認識されている。

ところで、沙漠のことをヘブル語では、ミッドバール midbār, カラバー carābāh, シェマーマー shemāmāh という。このうちシェマーマーの名詞は荒野・荒地を意味し、動詞は「摩痺する」を意味する。イスラエル人は

恐怖をもって沙漠を忌避した。というのは、沙漠とはカオスの無法地帯であり、呪いの家あるいは呪詛の地である。そして、人間の靈魂を摩痺させる。すなわち人間の靈魂が萎えて活動不能に陥り、精神を荒廃させる。沙漠は、「雨と豊饒のやさしい風」の届かない、乾いた「熱風が吹き荒れ」・「火のへびやさそりがいる」・「石と塩穴だらけ」の荒野であり、悪靈の棲息する陰府(よみ)のクニであり、死者たちの棲まう呪詛の地であった(山形, 1987, p. 203; 1993, pp. 91-92)。沙漠はそういう不思議の場所であり、神が侵入し、悪魔が退散することによって聖なる空間に変貌する祭の場所であり、病気の治癒が起こる奇跡の空間である(山形, 1991, p. 43)。

また、ギリシャ語では、沙漠を *eremia* という。原意は、耕地の反対表示語で、「呪われた土地」や「悪靈の棲息地」を意味している(山形, 1993, p. 91)。和辻(1930)が指摘するように、「ギリシャ人が *eremia* として、ローマ人が *deserta* として、さらに近代人が *Wüste*, *waste*, *wilderness* 等として把握したものは、単なる砂の海ではなかった。それは住むものがない、従って何らの生気のない、荒々しい、極度にいやなところである。人々はこの風土をその形に於てではなく、その生気のないに於て捕らえた」ようである。

3) 身体としての沙漠景観

本稿の主題から少しそれるが、沙漠のイメージの展開例として、沙漠景観が喚起する身体的イメージについてごく簡単にふれておきたい。

たとえば、オーストラリア大陸の内陸の沙漠について、作家パトリック・ホワイトの描く物語に登場する人物たちは、「むき出しになった大地の皮膚」を思い出し、いたるところに「大地の骨」だらけの景観を想起する。そして彼らは、土という肉と、植物という毛髪のない、痩せた骨っぽい沙漠景観を賛美し、絶え間なく生い茂る植物で被われた景観をいぶかしく感じている。また、アメリカの沙漠地名についてアビーが収集したものの中には、「牧師の陰茎」とか「アン王女のお尻」とか「モーリーの乳首」とか、きわめて性的なイメージと直結させたものがある(PORTEOUS, 1988; 米田・瀧山, 1991, pp. 162-163, p. 178)。

確かに沙漠の地形景観には、身体的かつ性的な想像をかき立てるものがある。しかしそれ以上に、後者の場合は、日常の生活空間から離れた沙漠が、命名者たちにとって社会的に禁忌の対象となる部分を持ち込める陰の場所となっていることも見逃せない。

4. 沙漠の空間構成

1) 沙漠の種類とその分布にみる空間的秩序

前章までは、沙漠を表現する用語について、漢字と英語やアラビア語を中心とする語彙を比較検討し、さらに沙漠に対するイメージにも言及してきた。沙漠を表現する語彙の原意には、人間側から沙漠をみる視点が色濃く反映していることがわかる。沙漠のイメージは、なによりも砂沙漠が前提となっている。そこで本章では、沙漠の空間構成について論じ、砂沙漠のイメージが発現する背景を考察してみたい。

沙漠地域に一步踏み込めば、沙漠の姿が想像以上に変化に富んでいることに驚く。沙漠の地表面は、砂礫の有無と多少、またその起伏の高低と規模、露岩の高低や広狭、植生の有無や粗密、さらに地表面の軟硬にいたるまで、場所による変化が大きい。沙漠の自然特性の詳細は、これから本誌の沙漠シリーズに掲載される世界各地の事例を通して述べられることだろう。

沙漠の地形と構成物質の特性からみた沙漠の基本分類は、砂沙漠(*erg*)・礫沙漠(*reg*)・岩石沙漠であろう(赤木, 1981, p. 648; 遠藤, 1981, p. 215)。では、地表を被う砂沙漠の砂や、礫沙漠の礫はいつ、どこで、いかにして生産されたものなのであろうか。また、岩石沙漠の露岩の存在とその位置はどのように説明されるのであろうか。

沙漠地域に分布する埋谷性の多量の厚い砂礫堆積物の由来は、現在の沙漠気候下の風食や間欠的な降雨による洗食という地形形成営力だけで説明することは困難である。アフリカ大陸のサハラ沙漠では、最終氷期の乾燥期が終わって、完新世に入った約8,000年前に湿潤期が訪れた。この時期にサハラは、ステップからサバンナの植生景観が展開する緑野となったことが明らかにされている(門村, 1986, 1987, 1990; 門村ほか, 1991; 堀, 1977, 1982, 1987など)。枯れ川(ワジ)には流水がもどり、常流となった河川は、ティベスティをはじめとするサハラ内陸の高山を下刻した。山体の開析によって生産された砂礫は、山麓の緩斜面にうがたれた谷を流下し、より遠方まで運搬され、低地に堆積されて扇状地や三角州性の沖積地形を形成した。

このような環境変動は、何も最終氷期以降だけに起こったわけではない。第四紀を通じて、氷期と間氷期の環境変動は幾度も繰り返された。したがって現在の沙漠地域の大部分が、沙漠から緑野へ、緑野から沙漠へと大規模な景観変化を繰り返してきた。

以上の環境変動を何回も受けてきたことを前提に、現在の沙漠地域の地形景観の空間構成を模式的に示したも

のが、図1である。この図は、上部の平面図と、下部の断面図からなっている。図中の楕円形の模式的な沙漠空間は、断面図にみるように、中央部に大きな山体があり、山麓に緩斜面が広がっている。サハラ沙漠のティベスティをはじめとする孤立山塊は、この図に近似した場所である。

湿潤期には、山地から周辺低地に向かって放射状に河川が流下した。山体を開折した河川は、山麓部に扇状地性の緩斜面を形成し、大小の礫をはじめとする粗粒物質を堆積した。砂やシルトの細粒物質は、河川の運搬によって、さらに緩斜面の外縁部まで運搬され、三角州などを形成しながら低所を埋積した。かくして、内陸の中央部に岩石沙漠、その外側に礫沙漠、さらにその外側に砂沙漠という带状配列をした沙漠地形が形成されることになる。

いっぽう、平面図の右上に卓越風の風向を示す太い矢印が記入してある。断わるまでもないが、卓越風方向は

地域によって異なるので、この図は、あくまで一例を示したものである。ここでいう卓越風は、湿潤期から乾燥期に入って強く吹きはじめる乾燥風である。山体縁辺の低地部を埋積した砂やシルトは、この卓越風による飛砂で再堆積し、砂丘を形成する。その結果風下側へ砂域が拡大していった。こうして、沙漠は風の作用で再移動と再堆積を繰り返す、沙漠地形の带状配列は再構成されることになる。

ところで、アジアのタクリマカン沙漠 (MAINGUET, 1991, p. 76 の地形分類図) などを例に考えた場合は、沙漠の空間構成の模式図は図2のようになろう。これは、図1の内容を反転したものである。すなわち、盆地の縁辺部は山地で囲まれ、盆地内に向かって扇状地性の礫沙漠 (gobi) が形成される。中央部の低地には、湿潤期に運搬された砂やシルトからなる三角州性の沖積地が広がり、砂沙漠 (shamo) が形成される。乾燥期に入ると、盆地内の細粒物質が飛砂で再堆積し、まさに流砂とか沙漠

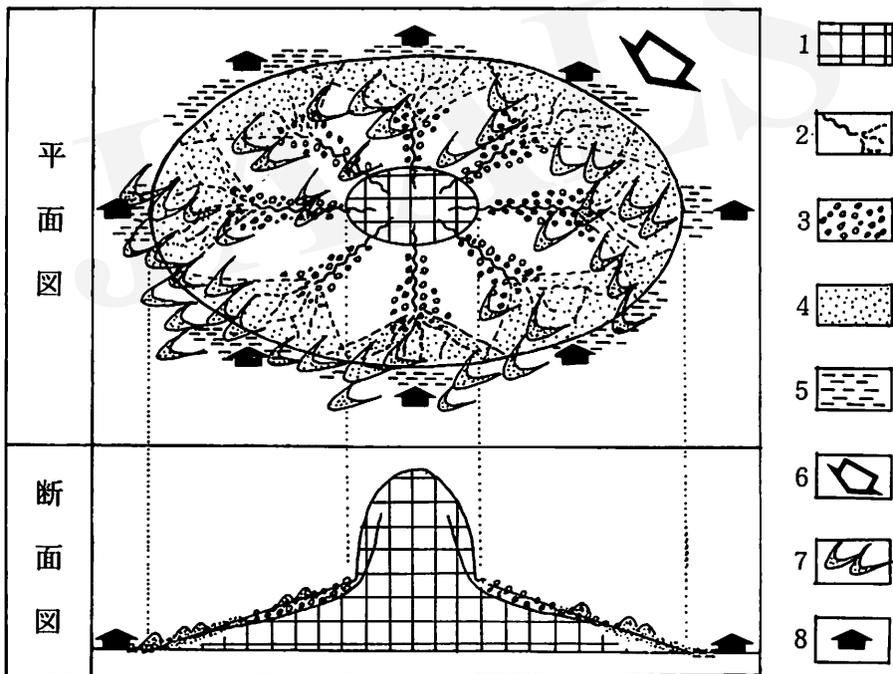


図1. 一つの山地を中心に発達する沙漠の空間構成を説明する模式図。

1. 基盤岩体、およびそれによって構成されている露岩山地。湿潤期には植生で覆われていたが、現在は乾燥により裸地化し、岩石沙漠を構成する。
2. 実線部分は湿潤期の常流河川の水路、点線部分はその下流部の水路。現在は実線と点線の両部分とも枯れ川(ワジ)である。
3. 湿潤期に形成された扇状地性の地形を構成する礫層。現在、この地形の主要部分が礫沙漠である。
4. 湿潤期に形成された扇状地とその下方に続く三角州性の地形を構成する砂層。現在、この地形の主要部分が砂沙漠である。
5. 湿潤期に発達した扇状地や三角州性の地形の縁辺部に形成された湿地や湖沼を埋積した細砂・シルト・粘土からなる堆積物。
6. 現在の卓越風向。
7. 現在の卓越風による飛砂によって形成される砂丘地形とその砂層。なお図中の砂丘地形は、バルハン型の砂丘で代表させた。
8. 沙漠の縁辺部に立地する遊牧民のキャンプや交易の結節地としての集落、およびその周辺の牧草地や畑地も含む。

(砂漠) にふさわしい場所となる。

2) 砂漠の空間構成と砂漠につきまとう砂のイメージとの関係

さて、ラクダをはじめとして家畜と共に遊牧する民や砂漠を往来する交易商人たちは、砂漠地域の外縁部に住んでいる。図1では、家型の印をつけた人間の居住地は、楕円の周辺部に分布する。この点に注目することによって、砂漠をめぐる用語群が、砂のイメージと強く結びつく事情が理解される。

砂漠の縁辺で生活する人間からみれば、砂漠の風景はまず砂漠から目に入る。かつて水流によって堆積した砂礫は、風によってさらに淘汰され、粒度のそろった細粒の砂が累重する砂丘の風景である。砂漠の空間に立ち入った人間は、風によって攪乱された砂沙漠を前にして、さらに前進しなければならない。彼らは、砂また砂の続く起伏の中に、彼らによって認識された「砂漠の空間構成」ともいえる秩序を読み取りながら、迷わず砂漠の奥へと突き進んでいく。

砂漠を意味する用語群は、砂漠と関わってきた人間が生み出してきた生活語彙である。一つの用語には、生活上の実感が込められ、その土地の風土の匂いを漂わせている。

前章までにみてきたように、「砂漠」という用語は、砂

砂漠のイメージしか喚起せず、自然科学的な定義に反するという主張が多いのが現状である。本学会の名称も同じ文脈に立脚している。視点の位置を変えれば、これは確かに一つの主張である。

しかし、どんな生活語彙にも用語として成立した事情があろう。本章で述べた砂漠の空間構成と、砂漠の用語を生み出した風土と生活者に視点を置いたとき、砂漠の用語が砂のイメージを前提にしていることが素直に理解される。砂漠の用語には、生活者の目があることを無視してはならない。

5. ま と め

本稿では、砂漠と砂漠という用語の字義と字解について少々立ち入った吟味を行なった。自然科学の立場から定義される砂漠には、乾燥という条件は欠かせない。それゆえに、砂の字は、左側の部首「サンズイ」と右側の少で、水が少ないとなり、すなわち乾燥状態を示すとする説明は、漢字の原意にそって解釈する立場からは受け入れ難い。すなわち、「さばく」の表記としては、「沙漠」にせよ「砂漠」にせよ字義に差はないことが指摘された。さらに、英語の desert の語源から原意を検討した。その結果、desert には、乾燥とか、砂を想起させるような場所の意味はまったくない。場所の性格はどうであれ、見捨てられ、放棄されたところという意味をもっている。

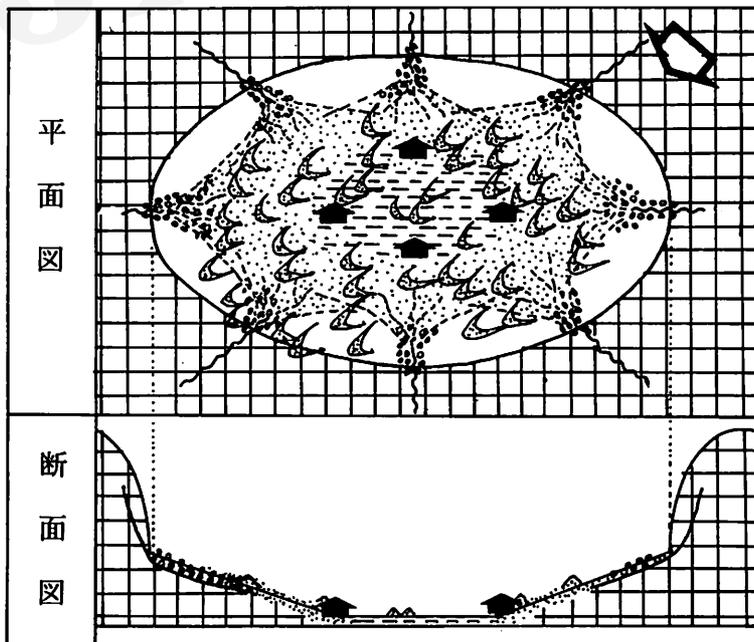


図2 盆地内に形成される砂漠の空間構成を説明する模式図。
図中の記号は図1の凡例と同じ

それゆえに、O. E. D. によれば既述のように森林地域にも使用されたという。desert という単語には、土地利用する人間側の意志や価値観が色濃く反映していることが窺える。

筆者は、乾燥を主張する立場からではなく、本稿では「さばく」の一般的な表現として、引用文を除いては「沙漠」としておいた。しかし、現代のわれわれが、新しい解釈を付与し、沙は乾燥を意味するという主張が受容しうるものならば、沙の字を「すな」の意の砂と意識的に区別し、併用すればよい。ただし、これは、新たな一つの主張であり、運動であろうから、それなりの学問的な手続きを踏む必要がある。

いずれにせよ、漢字の世界では、「さばく」を意味する用語の沙漠や砂漠や流沙は、砂あつての「さばく」であることを主張している。われわれは、自然科学的な定義による学術用語として沙漠という語彙を駆使する。しかし、そのいっぽうで、沙漠とか流沙という生活語彙を生み出してきた人間側の視座も共有して、その生活世界を考察する姿勢は忘れてならないだろう。このような視点を持つことにより、沙漠をめぐる学問の世界はさらに広がり、自然分野から人文分野にわたる自由な発想と豊かな成果が得られるであろう。沙漠化の問題をはじめ、現代社会はむしろそれを渴望している。

引用文献

- 赤木祥彦 (1981): レグ。町田 貞ほか編:『地形学辞典』二宮書店。
 赤木祥彦 (1990):『沙漠の自然と生活』地人書房。
 中国科学院南京土壤研究所編・農林水産技術会議事務局訳編 (1979):『英中日土壤学用語集』丸善。
 遠藤邦彦 (1981): 砂漠。町田 貞ほか編:『地形学辞典』二宮書店。
 藤城清治 (1978):『こころの風景』講談社文庫、講談社。
 ヘボン、J. C. (1980):『和英語林集成』講談社学術文庫。(HEBBURN, J. C. (1886): *A Japanese-English and English-Japanese dictionary*. Z. P. Maruya; Yokohama/ヘボン (平文) J. C. (1886):『和英・英和語林集成』丸善商社書店。)
 堀 信行 (1977): カメルーンの森林からサバナへ——地形と風化帯・コルビウムと石器の語ること。「地理」22-3: 63-72。
 堀 信行 (1982): カメルーン南部森林地帯の自然と人々。「地理」27-3: 79-88。
 堀 信行 (1987): 伝統的農業の変容: 環境変遷と土地利用。海外学術調査に関する総合調査研究班編:『海外学術調査コロキウム「乾燥・半乾燥地帯の農業——その伝統と変容」記録』: 177-195。
 堀 信行 (1993):『砂漠』化を考える——環境変化の中でゆらぐ人と自然。「月刊アフリカ」33-7: 10-12。
 堀内 勝 (1979):『砂漠の文化——アラブ遊牧民の世界』教育社歴史新書(東洋史) B2。教育社。
 岩崎民平・小橋義男監修 (1971):『新英和辞典(第3版)』研究社。

- 貝塚茂樹・藤野岩友・小野 忍 (1959):『角川漢和辞典』角川書店。
 門村 浩 (1986): アフリカの環境変動。「創造の世界」57: 6-43。
 門村 浩 (1987): 熱帯アフリカにおける晩氷期——完新世初期の環境変動。「アフリカ研究」30: 71-93。
 門村 浩・勝俣 誠編 (1992):『サハラのほとり——サヘルの人々と人びと』TOTO 出版。
 門村 浩・武内和彦・大森博雄・田村俊和 (1991):『環境変動と地球砂漠化』朝倉書店。
 小林信明編 (1963):『新選漢和辞典(第5版)』小学館。
 小堀 巖 (1973):『沙漠——遺された乾燥の世界』NHK ブックス 187。日本放送協会。
 MAINGUET, M. (1991): *Desertification: Natural background and human mismanagement*. Springer-Verlag: Berlin。
 米田 巖・瀧山健一 (1991):『心の中の景観』古今書院。
 MEIGS, P. (1953): World distribution of arid and semi-arid homoclimates. *Review of research on arid zone hydrology*. (UNESCO, Arid Zone Programme I), UNESCO, Paris: 203-210。
 森本哲郎 (1976):『タッシリ・ナジュール——遺跡との対話2』平凡社カラー新書 31。平凡社。
 諸橋徹次 (1957):『大漢和辞典』Vol. 6。大修館書店。
 諸橋徹次・鎌田 正・米山寅太郎編 (1982):『広漢和辞典』中巻。大修館書店。
 中野美代子 (1991):『龍の住むランドスケープ——中国人の空間デザイン』福武書店。
 小川環樹・西田太郎・赤塚 忠 (1968):『角川新字源』角川書店。
 ONIONS, C. T. (1973): *The shorter Oxford English dictionary on historical principles*. Oxford University Press, Oxford, Vol. 1。
 大浜一之 (1991):『データで検証——地球環境のウソ・ホント』講談社。
 大森博雄 (1992):『水は地球の命づな』地球を丸ごと考える 5。岩波書店。
 PORTEOUS, J. D. (1986): Bodyscape: The body-landscape metaphor. *The Canadian Geographer*, 30-1: 2-12。
 島村盛助・土居光知・田中菊雄 (1958):『岩波英和辞典(新版)』岩波書店。
 SHIMPSON, J. A. and WEINER, E. S. C. eds. (1933): *The Oxford English Dictionary being a corrected reissue with an introduction, supplement, and bibliography of a new English dictionary on historical principles*. Oxford University Press, Oxford, Vol. 3 (D-E); Vol. 5 (H-K)。
 杉本つとむ編 (1981):『江戸時代翻訳日本語辞典』早稲田大学出版部。(底本は、堀達之助ほか編 (1862):『英和对訳袖珍辞書』洋書調所)
 藤堂明保 (1978):『学研漢和大辞典』学習研究社。
 藤堂明保・松本 昭・竹田 晃編 (1988):『漢字源』学習研究社。
 遠山征雄 (1992):『沙漠を緑に』岩波新書 287。岩波書店。
 和辻哲郎 (1930): 沙漠。「思想」100: 475-495。
 和辻哲郎 (1935):『風土——人間学的考察』岩波書店。
 山形孝夫 (1987):『砂漠の修道院』(新潮選書)。新潮社。
 山形孝夫 (1991):『聖書の奇蹟物語——治癒神イエスの誕生』(朝日文庫)。朝日新聞社。(初版は、山形孝夫 (1981):『治癒神イエスの誕生』(小学館創造選書)小学館から単行本で刊行された。それが再版されたものが本書)
 山形孝夫 (1993): 病いと癒し—傷ついたシャーマン。河合隼雄・清水 博・谷 泰・中村雄二郎編:『身体・宗教・性』岩波講座 宗教と科学 8。岩波書店: 79-112。
 吉田賢抗編 (1969):『新選漢和辞典(新修版)』明治書院。



編集委員 門村 浩(委員長: 東京都立大学) 赤澤 威(東京大学) 遠藤邦彦(日本大学) 甲斐憲次(筑波大学)
勝俣 誠(明治学院大学) 小島紀徳(成蹊大学) 小西正捷(立教大学) 長島秀樹(理化学研究所)
袴田共之(農業環境技術研究所) 堀 信行(東京都立大学) 書記: 黒瀬匡子
日本沙漠学会編集委員会/〒192-03 八王子市南大沢 1-1 東京都立大学理学部地理学教室内
TEL 0426 (77) 2605/FAX 0426 (77) 2589

Editorial Board Hiroshi KADOMURA (Chief Editor) Takeru AKAZAWA Kunihiko ENDO Kenji KAI
Makoto KATSUMATA Toshinori KOJIMA Masatoshi KONISHI Hideki NAGASHIMA
Tomoyuki HAKAMATA Nobuyuki HORI Editorial Secretary: Kyoko KUROSE

Editorial Office The Japanese Association for Arid Land Studies
Department of Geography, Tokyo Metropolitan University
Minai-Ohsawa 1-1, Hachioji, Tokyo, 192-03 Japan.

TEL: 0426-77-2605/FAX: 0426-77-2589

編集発行: 日本沙漠学会/〒113 東京都文京区本駒込 2-28-8 理化学研究所駒込分所内
The Japanese Association for Arid Land Studies TEL 03 (3947) 7708/FAX 03 (3947) 8389
発売所: TOTO 出版/〒105 東京都港区虎ノ門 1-1-28 TEL 03 (3595) 9689/FAX 03 (3595) 9450
定価 1,500 円 (本体 1,457 円) 発行日 1993 年 6 月 25 日

印刷: (株)国際文献印刷社

JOURNAL OF ARID LAND STUDIES

CONTENTS

Frontispiece

Taichi MAKI: Desert and Desertification around the Silk Road in China

Original Articles

Hiroyuki Ii, Yoshiyuki OHTSUKA, Tetsuo OGAWA, Yukuo ABE and
Tomoharu YAMAGUCHI: Experimental Study on Salt Capture
Method Using a Paper Roll 1-7

Akio KITO, Koji YAMAZAKI and Tatsushi TOKIOKA: Summertime Mois-
ture Flux in the Desert Regions of Western China 9-17

Special Report:

"Earth Summit and Recent Trend in Global Environment Research"

Hiroshi KADOMURA: Introduction 19

Takashi IJIMA: United Nations Conference on Environment and Devel-
opment (UNCED) 20-24

Zenbei UCHIJIMA: Global Environment and Energy 25-33

SANGA Ngoie Kazadi: A New Approach to the Coexistence of Man and
the Nature—Learning from the traditional life expertise of
the rural African— 35-49

Discussion 51-54

"Proceedings of the 2nd Symposium of Arid Land Technology"

Taichi MAKI: Role of Windbreaks for Prevention of Desertification 55-61

Yukinori KUWANO and Toshiya TANAKA: Solar Cells and Their Applica-
tion to Desert 63-71

Seminar on World Deserts (1)

Nobuyuki HORI: Spatial Organization of Desert: Terminology on Desert
..... 73-81