

ブラジル・ベレン周辺の熱帯雨林とその再生実験

財団法人・国際生態学センター 阿部 聖哉

Tropical Rain Forests and their Restoration Experiments around Belem, Brazil

Seiya ABE (Japanese Center for International Studies in Ecology)

1.はじめに

地球環境問題の一つとして熱帯林破壊が大きく取り上げられるようになってから、既に幾年かが過ぎてている。また、ブラジル・リオで地球サミット（1992年）が開催されてからだけでも10年に達しようとしている。その間に様々な規模と方法を用いた熱帯林再生のプロジェクトが世界各地で展開されつつある。筆者の所属する研究所（財団法人・国際生態学センター、横浜）においても、熱帯林再生は研究所の重要な国際プロジェクトの一つとして位置づけており、マレーシアとブラジルを実験研究の対象地として、ポット苗による樹木植栽、その後の成育状態の観察とモニタリング測定を定期的に行っている。

本報では、研究所が実施しているプロジェクトのうち、筆者が関わっているブラジル・ベレン地区のアマゾン熱帯林再生プロジェクトについて簡単に紹介し、再生実験プロジェクトと文献調査によって明らかになったいくつかの問題

点を述べてみたい。

2.ベレン周辺の森林の特徴

熱帯林再生実験プロジェクトを行っている地域は、ブラジル・パラ州の州都ベレンとその周辺のマラジョ島からパラゴミナスまでに至る。アマゾン河の下流部に位置する当地域は、大部分が湿潤熱帯に含まれており、過去には広大な面積の熱帯雨林によって覆われていたと考えられている。確かに現在でもベレンからトカンティス川を遡ったマラジョ島の奥地や、パラゴミナスからさらに南下した地域には連続した熱帯雨林を見ることができる。しかし、ベレン郊外では、熱帯雨林的な林分が残されておらず、肉牛を中心とする利用のための牧場が広がっており、開発に失敗し放棄されている牧場跡地には二次林がモザイク状入り交じった景観を呈している。インバウバと呼ばれるセクロピア属の樹木が、この二次林を特徴づけている。

さて、アマゾンの熱帯雨林には大きく分けて

2つのタイプがあるとされている。一つのタイプは陸域で冠水することのないテラフィルムの森林で、もう一つのタイプは雨季の増水によって浸水する森林である。西沢・小池(1992)は、アマゾンの熱帯雨林は大部分がテラフィルム林であり、ヴァルゼアやイガポーと呼ばれる浸水林は全体のわずか2%を占めるに過ぎないと報告している。しかし、季節的な浸水林の一つであるヴァルゼア林は、アマゾン河の支流沿いに沿って、網脈状に広がっている(磯谷, 1995)ことから、分布域は決して狭いものではないと考えられる。そのヴァルゼア林を特徴づけている樹種が *Virola surinamensis* であり、ベレン周辺では比較的普遍的に見い出される(Tsuchiya & Hiraoka, 1997; Worbes *et al.*, 1992 など)。

3. 実験植栽の方法

植栽実験プロジェクトは、国内の環境保全林において実践されてきたポット苗による密植方式によって行われた。熱帯林については潜在自然植生の明らかでない部分も多いが、自生種を中心に有用樹種を取り混ぜての多種の混植となった。樹種選定の詳しい経緯は、筆者が当初プロジェクトに関わっていなかったためよく分からないが、おそらくは入手可能な苗木が少なかったことや将来有用樹種を利用することを考慮したものと思われる。土壌は木材を製材する際に出される樹皮やチップを表土に混ぜて、養分の十分な状態に地拵えされた。その後、養生されたポット苗が、国内の環境保全林の場合と同様1㎡に2～3本づつ植栽された。表土保全、密植方式による植栽樹種の成長経緯はめざましいものがあり、5年後には10mを超えるまでに成長している。その高い成長を担った樹種は、先駆樹種として有名なバルサ *Ochroma lagopus* (Whitmore, 1990) であった。

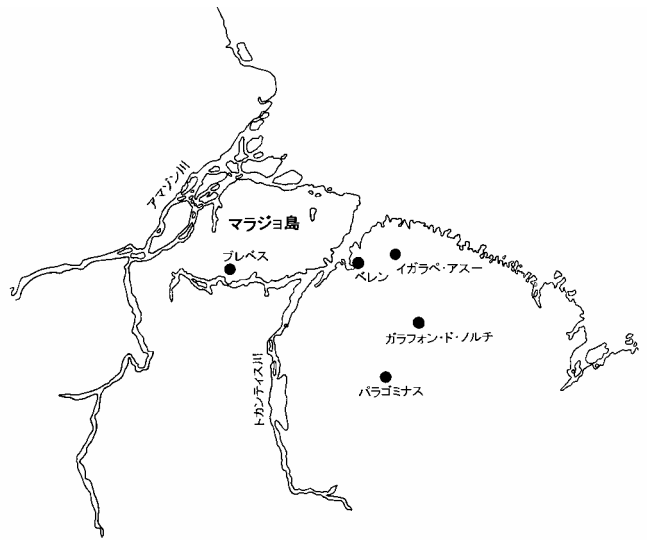


図1. ベレン周辺の植栽実験地位置図

4. その後の成長経緯

この成功により植栽実験地は、植樹祭と絡めて毎年少しづつ拡大されている。現在第1期から第8期までの植栽が行われている(表1及び図1)。しかし、しばらくして思わぬ問題点が浮上してきた。先駆樹種には一般的に根を浅く張るものが多い。有機物の分解が早い熱帯土壤に生育するものはなおさら浅いのかもしれない。また、成長が早いため幹が軟らかく折れやすい。大きく成長したバルサの幾つかが、強風によってバタバタと倒れはじめた。幹折れをしているものもあるが、根こそぎひっくり返っているものもある。この根返り現象は、植栽に当たって外部から導入された有機質に富む表土と元々この地にあった母材とが充分混じり合っていなかったことも原因と考えられている。上層木の倒伏によって光条件が好転し、下層の樹種が育つというのは自然林での話である。植栽実験地では巻き込み等によって下層を構成していた樹木も多数枯死し、現在では大きなギャップを形成し、つる植物がはびこってしまったところも多く見られる。もちろん、このような状況は植栽実験地の全てではない。部分的ではあるが、根

表1. 植栽実験の経緯.

	植栽年	植栽地
第1期	1992年	ベレン周辺, プレベス
第2期	1994年	イガラベ・アスー
第3期	1995年	ベレン周辺
第4期	1996年	ベレン周辺
第5期	1997年	ガラフォン・ド・ノルチ
第6期	1998年	ベレン周辺
第7期	1999年	ベレン周辺
第8期	2000年	ガラフォン・ド・ノルチ

返り現象があったにもかかわらず、現在では下層を構成している樹木の生育が良好で、ある程度林分状態の回復が見られるところもある。

第1期の実験地で現在本数、材積ともに多いのは、ANDIROBA (*Carapa guianensis*), MOGNO (*Swietenia macrophylla*), PAU D'ARCO (*Tabebuia serratifolia*) である。3種とも自生種であり、前2種はやや先駆的な性質をもつが、後種は成長の遅い Late-successional な種である。このまま推移すればある程度の林相を持つ森林には成長していくと考えられる。しかし、部分的にギャップが形成されていたり、つる植物がはびこってしまっている箇所も見られるので、今後補植や森林回復に向けた維持管理は必要になるであろう。

第2期以降の実験地では、有用樹種として混せて植栽されていた東南アジア原産のチーク (*Tectona grandis*) が、成長、生存率ともに良く、中間層で支配的な立場を占めている。今後、上層木の枯死についでチークが枯死し、在来の自然林や二次林に近い林に遷移していくのか、それとも偏向して別のタイプの林に変わっていくのかに興味深い点である。ただ、過去の一時期に、この地区に導入された外来種のグメリナ (*Gmelina arborea*) が、生育域を広げ二次林としてはびこっているという話も現地の研究者より聞いている。有用樹種とは言っても、従来使

われていなかった外来樹種の新たな導入には少数であっても充分注意すべきであると考えられる。

第1期のマラジョ島プレベスの植栽地は他の実験地とは異なり、種類数は少ないが自生種によって植栽実験が行われている。また、ベレン周辺とは異なり、地味も元々悪くない。ここで最も本数が多い樹種が *Virola surinamensis* で、全体の約8割を占め、他にスマウマ *Ceiba pentandra* など数種の樹種が混じる。植栽された種数は少ないものの、その構成はヴァルゼアの自然林に近いものになっている。こちらの植栽樹種の成長は比較的順調で、日本の環境保全林と同じ様な相観を形成している。残念ながら、モニタリング調査が継続的に実施されていないため、成長の詳しいデータは取れていない。

5. おわりに

表土保全、ポット苗の密植による植栽方式 (Miyawaki & Golley, 1992) は、日本の植栽事例と全く同じというわけには行かないが、ブラジルなど熱帯地域でもある程度短期間で森林状態を創り出すのに有効な技術である。しかし、樹種選定には、先駆樹種のうち特に成長の早いバルサヤ、たとえ少数であっても外来樹種の混植は避けるあるいは十分に配慮する必要があることが分かってきた。

熱帯地域で日本の場合の様に極めの詳細な潜在自然植生図を作成することは難しいとしても、細かな立地条件の差異に応じて生育する樹種が異なることに変わりはない。樹種選定や植栽地の基盤整備に際しては水分や養分やその季節変化など立地の違いを考慮しつつ慎重に決定する必要がある。さらに、湿潤熱帯の様に生物多様性の高い地域では、遺伝子レベルの違いも考慮しなければならない。プランス (1997) が報告している様なレフュジアがアマゾン各地にあるとしたら、広域種でも過去の地史的な分布域の変動により地域的個体群が遺伝的分化を起こし

ている可能性があり、地域を超えての個体の移動が生物多様性の攪乱要因に成らないように注意すべきである。

こうした植栽に関する技術的な問題に加え、植栽される苗の親木の自生地をどこまで許容できるのか、外来種の導入など、熱帯林再生には大きな課題が残されていると考える。それは「熱帯林再生の目的は何か」ということである。

これまでの日本が直接間接に関与するプロジェクトとして行われてきた熱帯林再生の技術援助では、どちらかといえば環境破壊の免罪符的に行われてきたケースが多いとされている。現地側国のプロジェクトに対する資金援助に留まっている例も少なくない。また、熱帯林再生という言葉もかなり幅の広い意味に使われ、伐採跡地にユーカリやアカシアを植林する場合にすら使われている。しかし本来、都市域での環境保全、放牧地の土壌劣化防止、孤立林のネットワーク化など、地域性、歴史性などを考慮すると森林再生の目的によって希求される機能も、再生の手段も、必要なコストも異なってくるはずである。

今後は、現地フィールド調査による潜在自然植生の詳細な検討を行い、表土保全・ポット苗による密植による植栽方法など、これまでのプロジェクトによって得られた実験研究成果を検討しつつ、希求される森林の機能までもを包括した姿勢で熱帯林再生プロジェクトに取り組む必要がある。同時に、一度破壊された森林や絶滅した個体群は、動植物やカビや細菌を含めた遺伝子資源保全全体が決してもとの状態には戻らないということを念頭において、既存林の保全を最優先課題とすべきである。その前提

で、部分的にでも森林生態系を修復していくという発想へ転換していくことが重要と考える。

6.謝辞

本研究プロジェクトに関し、ご指導いただいている財団法人国際生態学センター研究所長・宮脇昭先生、資料の提供など数々のご協力を頂いた国士舘大学磯谷達宏講師、およびご支援を頂いている三菱商事、EIDAI DO BRAZIL の方々に感謝いたします。

引用文献

- 磯谷達宏 1995. アマゾン熱帯林再生プロジェクトについて. 生態環境研究 2(1): 51-52.
- 西沢利栄・小池洋一 1992. アマゾン 生態と開発. 岩波書店.
- プランス, G. T. (岩槻邦男監訳) 1997. 地球植物誌 計画—人間と自然との共生をはかる. 紀伊国屋書店.
- Miyawaki, A. & Golley, F. B. 1993. Forest reconstruction as ecological engineering. *Ecological Engineering* 2: 333-345.
- Tsuchiya, A. & Hiraoka, M. 1997. A study of the characteristics and sustainable utilization of secondary forests in the Amazonian estuary. *ECO-HABITAT* 4: 1-10.
- Whitmore, T. C. 1990. *An introduction to tropical rain forests*. Oxford University Press, New York.
- Worbes, M. Klinge, H. Revilla, J. D. & Martius, C. 1992. On the dynamics, floristic subdivision and geographical distribution of varzea forests in Central Amazonia. *Journal of Vegetation Science* 3: 553-564.

インドネシア・中央カリマンタンの熱帯泥炭開発の現状

北海道大学大学院農学研究科 大崎 満・井上 京

Present status of tropical peat development in Central Kalimantan, Indonesia
Mitsuru OSAKI and Takashi INOUE (Graduate School of Agriculture, Hokkaido University)

1. はじめに

北海道大学では 1997 年より 10 年計画で、インドネシア科学院(LIPI)生物学研究所との間で日本学術振興会支援による拠点大学方式学術交流事業「東南アジア湿地生態系における環境保全と地域利用」を行っている。特に、中央カリマンタンのパラカラヤ市にあるパラカラヤ大学を中心に、熱帯泥炭について、1)湿地林域における生態系の機能と遺伝的多様性、2)湿地林の再生と持続的農業形態の確立、3)泥炭地域の地盤・水理水文学、4)水界生態系機能のサブテーマのもとに多くの研究を進めている。この地域では、熱帯泥炭の荒廃が著しく進んでおり、その現状を報告し、修復・保全の取り組みについて述べる。

2. 熱帯泥炭荒廃の背景

インドネシアの人口は 2 億人を上回り、中国、インド、アメリカ合衆国に続く世界第 4 位の人口を有する大国である。土地利用率は総面積の 19%に達するが、人口の密集したジャワ島では宅地や工業用地への転用による農地面積の減少が問題となっている。1984 年に米の自給が達成されたが、その後人口増加、農地面積減少、天候不順(大干ばつ)等により、再び穀類の輸入国に転じている。とりわけ、1991 年と 1994 年の大干ばつにより穀類、特に米の生産が大幅に落ち込み、近隣諸国から多量の米が輸入された。このようなことから、インドネシアでは米の自給と安定供給および農家所得の向上を

目指して種々の事業が展開されている。主要なものとして、水管理技術向上、営農技術普及、機械化農業の普及、土地改良、土地所有の調整、改良品種の普及などであるが、少しずつ前進しているものの未だに初歩的な段階にとどまっている。そういったことから、1990 年代に入ってから、これまで農業地には向かず、多くの問題を抱えているためにほとんど開発されてこなかった泥炭地を大規模開発し、一気に米の生産量を高めるという巨大プロジェクトが立案され遂行された。中央カリマンタンの泥炭地の 100 万 ha を水田開発しようとするもので、これは日本の米作付け面積の実に 50%に相当する。しかし、プロジェクトは種々の理由から失敗し、多くが離農し広大な荒廃地が残されることになった。

3. インドネシアにおける低湿地の特徴

熱帯泥炭は地球全体の泥炭地面積の約 10%を占め、その多くはインドネシアに存在し 16-27 Mha に達する(J. O. Riely & B. Setiadi1997)。インドネシアではカリマンタン、スマトラ、イリアンジャヤなどの海岸部に低湿地が広く分布するが、特にカリマンタン(ボルネオ島インドネシア領)に約 50%程分布している。インドネシアの沿岸部に分布する低湿地は、地形的にきわめて平坦であり、その中を流れる河川はかなり内陸部まで潮汐の影響を受けている。そこでインドネシアでは低湿地を水文地形的な特徴に基づいて、海水の影響下にある地帯に生成する泥炭を coastal peat、汽水域に生成する泥炭を

transitional peat、淡水域に生成する泥炭を inland peat と分類している。

インドネシアを含む熱帯の泥炭地では、農業利用などにより泥炭層が消失すると、溶脱のため極めて貧栄養となった石英砂(主に inland peat)か、強酸性の硫酸酸性土(主に coastal peat)が下層から出現し、農耕はもちろん、植生の回復すら困難になり、多くは放棄されることとなる。従って、泥炭地の開発は下層の問題土壌との格闘でもあり、現在対策が困難であるいじょう慎重に対処する必要がある。さもなくば広大な荒廃地が後に残されることになる。

4. 熱帯泥炭は巨大な炭素の貯蔵庫

泥炭は主に有機物からなることから、巨大な炭素の貯蔵庫の役割を果たしており、言い換えると泥炭の開発は地球規模での炭素の循環に大きな影響を与える。温・冷帯の炭素蓄積速度は $20\text{--}27\text{ g C m}^{-2}\text{ yr}^{-1}$ で、熱帯泥炭ではその約 10 倍ほどの速度である(J. O. Riely & B. Setiadi 1997)。つまり、熱帯泥炭の深さ 4.5 m と 10 m における安定同位体炭素年代は 8,450 yBP と 9,600 yBP で、このことは平均して $290\text{ g C m}^{-2}\text{ yr}^{-1}$ の炭素集積速度になる。

貯蔵炭素量の推定は地形、泥炭密度、厚さの不均一性により困難を伴うが、J. O. Riely & B. Setiadi (1997)により次のように推定されている。炭素含有率を 55%、土壌容積重(bulk density)を $0.13\text{ (g cm}^{-3})$ 、泥炭の厚さを温・冷帯で 1.5m、熱帯で 5m、面積を温・冷帯で 358 Mha、熱帯で 42 Mha とすると、炭素貯蔵量は温・冷帯泥炭で 390 Gt、熱帯泥炭で 148 Gt となる。つまり、熱帯泥炭の炭素貯蔵量は地球上の泥炭炭素貯蔵量の実に 27.5%に達する。また、地球上の全土壌中炭素量は 1,000-2,000 Gt と試算されており、熱帯泥炭は 0.3%の面積を占めるに過ぎないが、10%近くの炭素を貯蔵していることになる。また、熱帯泥炭は森林破壊、焼畑、異常乾燥による焼失、排水による微生物分解の促進によって、年 1 cm 程度減少するとすると放出炭素(C)量は

0.3Gt /年となり、これは経済活動(主として化石燃料の消費)による炭素排出量(5.5 Gt/年) (IPCC 報告)の実に 5.5 %に相当する。実際、排水により年 1cm 程度の泥炭の分解は普通に起き、エルニーニョによる火災で 1m も焼失するのまれでなく、大気に深刻な負荷を与えつつあると考えてよい。

5. 泥炭地大規模開発の経緯と現状

1960年代までの開発経過として、中央カリマンタン州沿岸部の開発は Barito 川をはさんで東側に位置する南カリマンタン州(首都バンジャルマシム)から西進してきた。その際大きな役割を果たしたのが Anjir と Handil とよばれる運河である。Anjir は河川間の連絡運河として、Handil は Anjir に接続する小水路として、いずれも地元民(主にバンジャル人)によってオランダ植民地時代から順次建設されてきた。Anjir は現在、長さ 16km から 35km にわたる6本が、バリト川、カプアス川、カハヤン川の各河川とその支川を連絡しているが、カハヤン川の右岸以西にはみられない。これら Anjir は周辺の開墾を目的に開削され、建設当初は幅数 m に満たない細い水路であったが、現在では大型はしけが行き来できる大運河に整備され、地域の舟運に大きな役割を果たしている。一方の Handil は平均幅 2m、深さ 1.5m 程度の小水路で、約 500m の間隔をおいて Anjir から直角に開削されているいわゆる二次水路である。各 Handil の延長は 5km から 11km 程度である。元々は入植・開墾時の交通路として開削された小水路であったが、現在は主に農地の排水管理のために使われており、Handil ごとに地元民による管理組合ができています。現在 Handil が分布する地区の多くは、沖積土壌地帯に発達していることから、カリマンタンにおける穀倉地帯となっている(特に中央カリマンタン州に隣接する南カリマンタン州)。

1970 年代よりインドネシアでは移民政策(transmigrasi)がとられてきた。これは食糧増産・コメの自給達成と、増加するジャワ・バリ島の人口過密

緩和をねらったものである。中央カリマンタン沿岸部でも移住民がジャワ・バリ島から入植してきている。移住地には河川につながる幹線水路(運河)が開削されているが、前述の Anjir のような川と川を結ぶ形にはなっておらず、内陸で行き止まりとなっている。これら新しい入植地の多くは、浅い泥炭地を開墾したところが多く、すでにほとんどの入植地の農地では泥炭層が消失しており、下層土から硫酸酸性土壌が出現し、イネの作付けが困難になっている。

さらに、1995年には大規模開発プロジェクト(100万ヘクタール泥炭地開発プロジェクト)が当地域に大きくオーバーラップする形で打ち立てられることになった。このプロジェクトはインドネシアのコメの自給率向上をはかるために、中央カリマンタンの低湿地約100万ヘクタールをいっきに水田化し、また移民を導き入れようというものである。事業の計画と基幹水利施設の建設は公共事業省、農地造成等を農業省、移住関係を移民省が管轄している。対象とされる地域はおおよそ南緯約 2° 15'より南側で、東側を Kapuas 川および Barito 川とその連絡支川 Pulaupetak 川、西側を Sebangau 川で囲まれた範囲である。ただしこの範囲内でも Kuala Kapuas 周辺など既に集約的開発の完了している地区は除外されている。またプロジェクト地域は各河川を境界として A-D の4ブロックに分割されている。実際の全プロジェクト面積は113.4万 haにおよんでおり、そのうちの約半分が厚さ40cm以上の泥炭地とされている。また現在の地目では地域の約25%が原生林、40%が伐採林、25%が原野などの荒廃地、残り10%が既耕地となっている。プロジェクトは1995年に発令された大統領令でスタートし、1996年には工事に着手され、1997年度には大方の幹線水路の開削および一部地区への入植までが終了したが、その後インドネシア国が経済危機に直面したことから、1998年5月以降全プロジェクトは停止している。ブロックAでは幹線水路のみならず農地造成から入植までプロジェクトが進行しており、ブロック内の3つの入

植地に1996年10月より1998年3月までの間、13,500世帯の移民がすでに入植している。当プロジェクトはスハルト元大統領の号令一下、急ピッチで進められてきた事業であるが、その計画の杜撰さ、計画実現の可能性の低さ、環境破壊、等の問題から内外の批判が強い。大プロジェクトにも関わらず先進諸国のODA関与はほとんどなく、インドネシア支援国はこのプロジェクトに対し冷淡な態度をとっているように思われる。また内外のNGOからは批判の声が強い。プロジェクト着手に先立っておこなわれた環境アセスメントでは、ボゴール農科大学の調査グループが地区全体の水田化は極めて困難だとし、泥炭層が浅く、かつパイライトの深いあるいは出現しないところのみの開発と、内陸部および河岸の森林保全を提案したが、省みられることはなかった。またプロジェクトが停止した直後の1998年5月にもプロジェクト見直しのための提言がインドネシア国内の大学・研究・行政からなる再評価委員会よりなされた。そこでは全面積のうち40万ヘクタールのみが農業利用に適しており、その他の土地については保全すべきだとし、既農地の適正開発、幹線水路の過排水防止・水位保持、農業不適地への植林、などが提案された。今後の同地域の動向が注目される所だが、やし油(palm oil)の価格高騰などもあり、依然強い開発圧にさらされているのが現状である。

6. エルニーニョと森林火災

1982年から1983年にかけて、ボルネオ島東部(インドネシア・東カリマンタン州とマレーシア・サラワク州)はエルニーニョによる異常乾燥に襲われ熱帯多雨林で350万 ha以上の火災が発生した。1991年および1994年にも大規模な森林火災が発生し、煙霧(ヘイズ)が問題となった。さらに、1997年から1998年におけるエルニーニョは期間の長さや規模の大きさにおいて過去に観測されたものを遙かに凌駕するものであった。この年の火災面積はインドネシア政府の報告で、森林約7万 ha、非森林(農

地)約13万 ha、また世界自然保護基金の報告で森林とその他の土地を合わせて約200万 ha が焼失したと推定されている(藤間 1998)。

熱帯泥炭地では通常停滞水があるために、泥炭層に火が入ることは稀であるが、1997年にはエルニーニョによる異常乾燥により停滞水の水位が著しく低下し、多くの泥炭が火災により消失した。しかし、このような条件下でも天然泥炭林が火災を起こすことは稀である。泥炭に火が入ったのは、泥炭湿地林の農業転換のために、大規模な伐採と排水工事がなされた地域で極度に乾燥化したためである。泥炭層に火が入るとくすぶり続けるために多量の煙を排出し煙害の原因ともなり、また低温度で燃焼するために環境汚染物質も生成されると指摘されており今後の調査が待たれる。

7. おわりに —はたして熱帯泥炭の保全は可能か—

中央カリマンタン地域の泥炭地の開発は巨大な貯蔵炭素の消失をとまなうことから、これまでの熱帯林の開発とは本質的に異なった面がある。さらにこの地では、地球温暖化(エルニーニョ)の影響により頻繁に焼失するようなことも起こっているが、人知を尽くせばこの生態系を守れないということはない。

そこで我々は多彩なプログラムの内の一つとして環境保全を主体とした生産生態システムが構築できないか取り組んでいる最中である。この泥炭地域は大まかにセバンゴー川とカハヤン川により、1) 比較的天然林が保全されている地域(セバンゴー川西域)、2) 火災により天然林が消失した、荒廃・放棄地(セバンゴー川とカハヤン川に挟まれた地域)、3) 大規模開発により農耕地化された地域(カハヤン川東域)に区分できる。

1) 比較的天然林が保全されているセバンゴー川西域:セバンゴー川西域に、北海道大学、インドネシアのパランカラヤ大学、イギリスのノッチングム大学などとNatural Laboratoryをつくり、天然泥炭林の保全の研究と教育普及を目指し、インドネシア政府に恒久的保全地域として指定するよう提案している。

2) 火災により荒廃・放棄地されたセバンゴー川とカハヤン川に挟まれた地域:2つの川に挟まれた地域は100万 ha プロジェクトに組み込まれていたため排水路が掘削され、著しく乾燥化が進み、約250Kha が火災に遭い、荒廃地と化している(農耕地化はされていない)。この地域の保全と生態系の回復は差し迫った問題で、何も手を下さなければますます頻繁に火災が発生し、泥炭が消失するばかりでなく、自然林への類焼が懸念されている。そこで、セバンゴー川とカハヤン川に挟まれた地域を天然林を守るためのグリーン・ベルトとして生態系の回復を計る方策を模索している。つまり、1) 物質循環の解析、2) 栄養生態の解析、3) 生物生産力の解析を行い、この知見を基に、生態系修復・保全のために、1) 居住区付近の小面積の作物生産(ダヤックの伝統的農法を基本とした改良農業)システム、2) その周りの中面積の草地造成・家畜肥育や果樹・有用植物(医薬品・高分子資源・繊維)の栽培システム、3) さらに外周部の森林再生システムの構築を目指すものである。一方、このグリーン・ベルトの中央に南北に運河が走っていて、この60kmの半分(それぞれ天然林と焼失荒廃地を含む)を埋め立て、大規模な環境変動が生態変動におよぼす影響について解明を進めることも計画している。

3) 大規模開発により農耕地化されたカハヤン川東域:大規模開発により農耕地化されたカハヤン川東域では、硫酸酸性土や石英質土が露呈し、耕作が極めて困難となっている。ここには、最近の農業技術を導入してもイネ等の作物の耕作回復は難しく、果樹、樹木、ヤシ類、繊維作物(ファイバー・クロップ)といった多年生植物により土地保全と生産性の確保を計っていかねなければならない。

参考文献

- 藤間剛:大規模エルニーニョとインドネシア森林火災、科学、**68**、920-924(1998)
- J. O. Rieley and B. Setiadi: Role of tropical peatlands in global carbon balance: Preliminary findings from the high peats of central Kalimantan, Indonesia. *Alami*, **2**, 52-56 (1997)

メコン河の水資源利用

埼玉大学工学部 佐々木 寧

はじめに

インドシナ半島最大の河川メコンは、中国の奥地に発し、ビルマ、ラオス、タイ、カンボジア、ベトナムと6カ国を流下する国際河川である。その豊かな水と肥沃な大地の広がるメコンデルタは、恵みの代名詞でもある。メコン河沿線に住む人々の生活は、生活の根源であるメコンの流れが途切れることのないかぎりのどこかで平和な生活が約束されるはずのものである。メコンの河川水はこれまでも生活用水、農業用水をはじめ、水運、漁業等の生業など、まさに生活と密着した利用関係にあった。しかし、メコン河は熱帯モンスーン気候域を流れる河川である。いわゆる降雨量が大きく異なる乾期と雨期の顕著な地域である。雨期の9月頃には広い河道に満杯の水をたたえ渦巻き、溢れんばかりである。しかし乾期の最盛期である4月頃には川底を晒す。河状係数 ($\theta_{\max}/\theta_{\min}$) はかなりの極端な数値になるはずである。

メコン河の開発

国際河川のメコン河は、洪水の制御、舟航、発電、灌漑などの水資源開発を軸に地域総合開発計画がたてられた。その中心的役割を担ったのが、1957年発足のメコン委員会（メコン河下流域調査調整委員会）である。流域のラオス、タイ、カンボジア、ベトナムが参加している。以来、日米欧の先進諸国、国連機関の経済的、技術的援助を受けてきている。1970年代のベトナム戦争をはさみ、組織は弱体化するが、今日その重要性が再び注目されている。

電源開発

メコン河でのダム構築の計画はいくつかあり、その代表的なものがビエンチャン上流域バモンダム計画である。この計画は、設備容量480万kwという大規模ダムの建設計画である。しかし、現実には本川部分には一つのダム構築も実現し

ていないのが現状である。環境問題と人没人口の多さが問題となったからである。メコン河が国際河川であることも大きな理由の一つである。メコン沿線国の中で山岳地の多いラオスでは、メコンの支川を利用したダムがいくつかある。その代表例がビエンチャンの北にあるナム・グムダム（15万kw容量）である。そこで生産される電力は国の重要な外貨取得の源であり、その大半（約80%）は海外に送電される。売却先は隣国のタイである。



図1. メコン川の乾季と雨季 乾季には川底が見える

1) 流入量

ダム構築の場合、重要となるのは河川集水域の森林の健全性である。マクロ的には、個々の支川の健全性は本川の水収支にも大きく影響するからである。しかし、ラオスではまだ流域管理の考え方は十分に広まっているとはいえない。流域の山地では、焼畑と炭焼利用が奥地まで入り、森は壊滅状態にある。新たなダム構築を望むラオスも、資源開発の現状は厳しい状況下にある。一方、対岸のタイ側も、1960年代からの「緑の革命」の農業開発画進み、結果的にコラト高原一体の森林量は激減している。メコンに流入する支流の流入水でみると、タイ側からが10.4 に対しラオス側からは18.8 と、まだラオ

ス側の流入量が多くなっている。

灌漑用水利用

水田稲作は天水利用型である。雨期の7月から10月頃までの間、一回だけの作付けとなる。雨期、メコンの水位は洪水状態にまで上がり、メコン河の支流や小河川の水位も上がっており、広い範囲で十分な水量を得ることができる。山間部でも、周辺の雨水のトラップ、あるいは上流部にリザーバー（溜池）を作り、この水を流下させることで農業用水は事足りる。すなわち、メコン河本川の水を直接水田に引く必要はほとんどない。むしろ、この時期、メコン河の過剰増水と洪水を危惧せねばならない。完成したタイ東北部のホエイモン川流域の灌漑施設、ムーン・チー川の揚水灌漑、ラオスのカオリエオやナムグム灌漑施設の何れもが支川の利用である。

問題は乾期である。11月から5月頃までの雨量は激減間、生活用水の確保すらままならない。溜池の水も干上がり、井戸も底をつく。各家庭に備え付けられた雨水貯蔵瓶も時に空になる。この水の需要期、肝心のメコン河は、川底を晒すほど水位が低下している。最も水の必要な時にメコン河に水がないのである。タイからラオスにかけての川幅の広い地域では、長大な湖のように水を湛える場所もある。しかし、こうした残された水を利用するにも、その利用には「汲み上げ」が必要となる。住民は生活用水を得るため、川岸から比高数メートル以上ある川底まで降り、水を汲み人力で担ぎ上げねばならない。

タイ側ではすでに多くの村で灌漑用の水路を設置、ポンプでの揚水を始めている。最近になってラオス側でも各村一台のポンプが政府の援助で設置されるようになった。生活用水の確保と灌漑が格段に改善されている。しかし、いずれもその運転費用は受益者負担であることから、そう大規模な灌漑まではできない。それでもメコン沿線では乾期にも稲作や裏作として野菜、豆類の作付けが行われるようになってきた。ここで問題は、タイ側、ラオス側双方でポンプで

くみ上げられる量は、水位の極端に下がっているメコン河の水量に影響を与える量になりつつあることである。水量の低下は水質悪化にも拍車をかける。メコン河は水牛などの家畜も常時利用しているからである。

生活用水

乾期における生活用水は、天水の利用とメコンからの揚水でまかなわれている。ラオス側ではメコンの河川水を直接ポンプ揚水し、簡易水導として各農家にホースで引く方法が取られている。しかも導水の時間が決められている。



図2. 汲み上げポンプ

タイ側では、こうした河川水の直接利用方式から深井戸のポンプ揚水方式にすでに切り替えている。より上質の水が配水されているのである。当然、メコン沿線の地下水への依存である。



生活用水とは、飲料水や料理にも供されることを意味する。

上質の水が得られないラオス側では、当然煮沸消毒されるが、それでも若干の濁色と臭いが残る。この脱臭と味覚を調整するため煮沸した湯の中に2-3種の植物（木片）を投入・処理して飲

用に供している。同じように茶葉の利用も行われる。

舟運

大河メコン河も、その本川に急流部ラピッドや滝がいくつかある。その最大のものが、カンボジアとラオス国境部のコーン大滝である。フランスの舟運開発もここで断念せざるを得ず、この部分に鉄道を敷設して物資を運んでいる。その他にも、水路沿いや川底の岩盤や岩塊が障害となり、今日なお、大型船の就航はできない状況にある。民間の船舶もそれぞれの区間単位で行き来するしかなく、河口から上流まで直接航行することはできないのである。

漁業の問題

メコン河の恵みの重要なものの一つは、その豊かな魚介類である。沿線の住民は漁業専業、半農半漁というより、ほとんどの農民が何らかの形で漁をしているともいえる。魚介類は人々の重要な蛋白源となっているからである。メコン河にはブープラなる巨大ナマズを筆頭に多くのナマズ類、コイ科の魚、大型のテナガエビ、シジミ貝などが採れる。ラオス南部には今も淡水性の河イルカが生息している。

メコン河の河岸崖 phateam パーティアムには古代人の描いた壁画があり、メコンの恵みを余すことなく大きく描かれている。



図4. 舟運を妨げる国境付近のコーン滝

1) メコンのゆりかご

メコン河の魚介類の豊かさは、その支川の一部であるカンボジア・トンレサップ湖の例で世界に知られている。中流域であるタイ、ラオスでは、河床や沿岸

が岩礫や砂で構成され、水草や岸辺の繁みも少ない。メコン河本川での繁殖再生産量はそう大きくないと考えられる。

しかし、雨期、状況は一変する。氾濫したメコンの水は乾期には干上がっていた周囲の小河川や低湿地と一体となる。草木も水没する。広大な湿地、一大水域となるのである。こうした陸域の植生域が魚介類の再生産の場となっている事が最近注目されている。トンレサップ湖が雨期に大拡大するのと同じく、メコン河沿線の湿地と一体化するのである。

2) 伝統的な漁

伝統的漁法は、小舟に乗っての糸釣りやサバ船で行われる投網である。河岸が礫から砂質であることから、水生植物や水際の繁みはほとんどなく、梁や仕掛類はむしろ少ない。その漁法はほとんどが個人単位で行われるもので、その収穫量も少なく、ほとんどは自家消費にまわされていると思われる。運良く大物を獲った時にはマーケットへと出されることになる。ラオス領メコン河にはこうした漁をする多くの小舟や、投網をする人々で今も賑わっている。

3) 近代漁具の導入

近代化は、漁具の変化として現れた。ナイロン製の大型網の登場である。川底が砂や砂利のメコンでは、底引き網漁すら可能である。小舟を使って網を仕掛、地引き網漁が始まっている。漁業では当然問題となる「網の目の大きさ」をどうするか、規制は定められていない。何度も何度も地引き網が引かれ、いつも多くの小魚、稚魚がかかっていた。専門の漁業者も出現、自前での近代的漁と漁民から集めた魚を、トラックで町の市場に出荷するのである。河川という限られた水面は、急速にその豊かさを失いつつある。大河メコンも無限ではない。



図5. メコンの恵みを描いた古代壁画