マレーシア森林研究所と林業試験場との共同研究「熱帯林の環境特性に関する研究」について

大貫仁人*・浅野　透**

1. はじめに

現在，「アセアン諸国との協力によるリモートセンシング技術の高度化とその応用に関する共同研究」というプロジェクトが科学技術庁宇宙開発課を窓口として，科学技術振興調整費で進行している。参加している機関は，日本では農林水産省林業試験場・農業環境技術研究所・農業土木試験場，通産省工業技術院地質調査所，建設省国土地理院・土木研究所，科学技術庁国立防災科学技術センター，環境庁国立公害研究所，財団法人リモートセンシング技術センター，大阪府公害監視センター，石川県衛生公害研究所の12機関，アセアン諸国では，マレーシア森林研究所，タイ国家研究評議会・農業共同省農業局・土地開発省国土開発局・王立灌漑局，インドネシア国立科学院地球工学研究開発センターの6機関である。このプロジェクトは昭和61年度から3年を第I期としてはじめられたもので今年は中間年にあたっている。このプロジェクトの課題化のいきさつと林業関係の研究内容を以下に紹介します。

2. プロジェクト成立までの経緯

このプロジェクトは，科学技術庁でまとめた2つの報告書『宇宙開発計画（リモセン）』（昭和59年3月，宇宙開発委員会）と『熱帯林の開発と保全に関する調査報告（熱帯林保全）』（昭和60年5月，資源調査会報告第96号）が契機となって始められた。

当初は，『リモセン』と『熱帯林保全』はそれぞれ別個のプロジェクトとして走ることを計画して，『リモセン』では『アセアン諸国との協力によるリモートセンシング技術の高度化に関する調査』（調査委員会：委員長坂田俊文教授（東海大学情報技術センター所長））が，『熱帯林保全』では『熱帯地域の自然環境保全のための共同研究に関する予備調査』（自然環境保全研究推進委員会：委員長松井光瑤博士（日本林業技術協会顧問・元林業試験場長））が海外調査団の派遣まで含めて行われ，共同研

OHNUKI, Itsuhito and ASANO, Tohru: Joint Research on the Enhancement and the Application of Remote Sensing Technology with ASEAN Countries

* 農林水産省林業試験場経営部
** 同造林部

究の課題，相手機関の研究資源，技術的基盤，共同研究の方式について調査を実施し報告書として取りまとめた。調査の対象となった国は，タイ，マレーシア，インドネシアであった。そして，それぞれは第Ⅰ期3年間で約11億円規模の計画を作成した。

しかし，昭和61年4月の科学技術会議政策委員会で，両者を合体し，『アセアン諸国との協力によるリモートセンシング技術の高度化とその応用に関する共同研究』として，年間1億5,000万円程度の予算で実施することが決定された。そのため，当初の計画を大幅に変更し，計画の中で考えられた極めて基本的な課題で，しかもリモートセンシング関連が主体を占めるようなプロジェクトの計画を再構築することとなった。前記した事前海外調査の結果を踏まえて検討した結果，推進すべき重要課題として整理されたのが以下の5課題であった。

① 北スマトラ国土総合開発適地選定に関する各種の主題図作成の研究（対インドネシア）。

② 中部タイに於ける農業的土地利用計画への応用に関する研究（対タイ）。

③ 森林資源管理のための森林資源調査及びその変化のモニタリングシステムの研究（対マレーシア，タイ，インドネシア）。

④ スラベシ島およびその周辺における地形・地質解析手法及び非再生資源調査への応用の研究（対インドネシア）。

⑤ コストの低減化を目的とした画像処理システムの開発研究（対タイ，インドネシア）。

林業分野では，タイ，マレーシア，インドネシアの何れの国からも共同研究の提案がなされた。しかし，予算的制約のため，また，アセアン諸国間のバランスを考慮し，以下に述べるように各国1課題が張り付く研究課題が採用された。林業関係ではマレーシアが共同研究の相手国として認知され，マレーシア側は森林局の協力の下に森林研究所（FRIM）が，日本側は林業試験場航測研究室と造林部生理・生態グループが担当することとなった。

3. 共同研究全体の概要

人工衛星を用いたリモートセンシングは，同時広域性，反復性等に優れ，全地球的規模の利用が期待されている技術であり，我が国では多くの利用分野において開発・利用の推進が図られている。また，我が国初の国産地球観測衛星（MOS-1,「もも1号」と命名）が昭和62年2月に打ち上げられ，タイにおいてこの MOS-1 の地上受信局の整備が進められている。そのため，この衛星を我が国及び海外において有効に利用することが重要な課題である。一方，熱帯諸国においては，自然環境の無秩序な開発・利用による急激な環境の破壊が問題となっており，リモートセンシング技術を用いた環境保全手法の開発が重要視されている。

このため，アセアン諸国からは，我が国のリモートセンシング利用技術や自然環境の保全に関する研究について種々の要望が出されているが，これらの技術や研究の海外への適用や環境特性等の解明を図るためには，地上調査データとの照合実験及び精

度の検証や，自然環境を構成する森林，水，土壌等の特性及び森林の開発・利用がこれらの特性に及ぼす影響を明らかにすることが不可欠である。

このため，アセアン諸国との共同研究を実施し，MOS-1 等衛星データ利用技術の高度化を図るとともに，リモートセンシング利用各分野に於ける共通基盤的な情報抽出・処理手法の開発を行い，その応用として熱帯地域の森林・農業環境特性等の解明を行うことを目的として以下の課題を内容とするプロジェクト研究が設定され実行に移された。

Ⅰ．リモートセンシング技術の高度化に関する研究

(1) 共通基盤的情報抽出・処理手法に関する研究

① 土地利用状況調査

② 植生環境調査

(2) 画像処理システム及びソフトウェアに関する研究

Ⅱ．熱帯地域の環境特性等に関する研究

(1) 森林環境特性に関する研究（マレーシア）

① 森林モニタリング手法の開発

② 熱帯林の基本的環境特性の解明

③ リモートセンシング技術による広域的環境特性把握手法の開発

(2) 農業環境特性に関する研究（タイ）

① 農業生産力把握手法の開発

② 水収支特性の把握と水資源管理

イ．洪水地形分類手法に関する研究

ロ．洪水氾濫特性の把握に関する研究

(3) 非再生資源調査に関する研究（インドネシア）

このプロジェクト研究の推進により，地球観測衛星の全地球的な有効利用の推進が図られるとともに，アセアン諸国にとっては，リモートセンシング利用技術の向上と環境特性の解明により，これらの国における産業・経済の発展に寄与することが期待されている。

4. マレーシアの自然環境・森林の特徴・林政について

共同研究の相手国がマレーシアと決定され，そして，マレーシア側との打ち合せで研究対象地をマレー半島内に設定することが合意された。ここでマレー半島の自然・森林・林政について簡単に触れておくことにする。

マレーシアは半島マレーシア 11 州とボルネオ島・東マレーシアのサバ，サラワク両州を加えた連邦国家である。国土 3,297 万 ha のうち 62.1% の 2,050 万 ha が森林であり，半島マレーシア（1,320 万 ha）では 48.4% の 640 万 ha が森林である。マレーシアにおいては国土及び森林は各州政府の管轄下におかれていて，各州の森林局が連邦森林局の調整及び監督の下で森林を管理している。連邦政府は国家の利益と州政府間の森林行政の統一性を図るため，1978 年に森林資源の保護造成と森林管理

の適正化を骨子とする National Forest Plan（国家森林計画）を策定し，林業行政を行っている。

半島マレーシアは低緯度地域でインド洋と南シナ海に面していて，アジア季節風の影響を受けて一様に高温・多湿で降水量の多い海洋性熱帯雨林気候となっており，四季の変化は殆どない。

気温は，年間を通じて最低 24℃ から最高 32℃ の間で変化するが，日変化は年変化より大きい。首都クアラルンプールの場合，最も暑い月と最も涼しい月の平均気温差が 0.8℃ であるのに対し，一日の気温較差は最大 7～8℃ である。

四季の変化がない中にも，しかし，雨期の北東モンスーン期と乾期の南西モンスーン期があり，半島マレーシアでは 10 月から 2 月までが北東モンスーン期で，南シナ海を渡って吹く季節風雨が，中央山脈にぶつかり特に東海岸地方に多量の雨を降らせ，その降雨量は最多雨量地で年間 6,000 mm，最少雨量地で 1,600 mm 程度となる。また，6 月から 9 月までは南西モンスーン期で，インド洋からスマトラ島を越えて季節風がふく。この時期は概して雨量が少なく，特に東海岸地方では好天が続く。これら二つのモンスーン期に挟まれた期間が微風期で，通常最も高温多湿であり前線性のスコールが多発し，局地的に大雨を降らせる。

植物相は極めて豊富で標高 0 m～半島最高峰タハン山 2,187 m まで，海岸のマングローブ林，丘陵地帯から山岳部まではフタバガキ科の樹種を中心とした常緑広葉樹林が優先し，標高 1,500～1,800 m 以上ではシイ，カシを中心とする常緑広葉樹林に変化し，フタバガキ科の樹木は標高 1,800 m 以上には存在しない。樹木は 3,000 種にのぼり，その内 890 種が dbh 45 cm 以上に成長する樹種で，408 種が国際的な市場価値を持っている。

マレーシアでは標高別の森林型の変化が明瞭で森林は自然地理的気候帯をベースとして次のように区分されている。

1. LOWLAND FORESTS（0～330 m）
2. HILL FORESTS（330～825 m）
3. UPPER HILL FORESTS（825～1,320 m）
4. LOWER MONTANE FORESTS（1,320～1,650 m）
5. UPPER MONTANE FORESTS（1,650 m～）

この区分をベースに，各気候帯毎に主要樹種の出現割合と森林の破壊の程度という情報を加味して更に細分している。このような森林型区分の概念は，経験的なもので，温度，湿度，地形条件をもとに植物生理学的観点から科学的に解明する必要があり大きな研究課題である。

森林局は，全国森林調査を 1962 年から約 10 年間隔で空中写真判読とサンプリング調査により行い，森林資源図を作成している。この場合，前述の森林区分法に加えて，林分構成，被覆状況，樹冠の大きさ，疎密度，写真濃度等の各要因を用いて更に細分し，蓄積級を導入して森林型の区分を行っている。最近の調査は，1981 年に行われている。

森林の伐採や破壊は，木材生産，農用地造成，焼き畑移動農耕のために行われている。木材生産のための年間の伐採面積は約22万 ha で，50～70年の公称ローテーションを採用したマラヤ統一方式（Malayan Uniform System : MUS）のもとに，胸高周囲寸法 137 cm という最小伐採制限を設け，更に，収穫後に dbh 45 cm 以上の有用樹種が ha 当たり25本以上残存するような択伐方式（Selective Management System : SMS）を採用し，伐採を規制している。また，焼き畑農業が一部で行われているが，個々の焼き畑は極めて小規模で面積 0.5 ha 以下のものが多い。（この択伐方式の伐採地や小規模の焼き畑をランドサット MSS データで解析可能かどうかは，この研究の主要テーマである）。

5. 林業関係の共同研究の概要

(1) 研究の目的

林業試験場とマレーシア森林研究所（FRIM）とで合意している共同研究「森林環境特性の解明に関する研究」の内容は，前記したように次の3課題である。

① 森林モニタリング手法の開発

② 熱帯林の森林区分と環境特性の解明

③ リモートセンシング技術による広域的な環境情報の収集法の開発

これは，無秩序な開発により荒廃化が進行している熱帯林を適正に維持管理するための基礎技術を，リモートセンシング技術を活用することにより開発しようとするものである。

① は，時系列的衛星リモートセンシングデータを用いて，森林の伐採，焼き畑農耕，自然災害，開墾，林道開発等の森林資源の変化を森林管理上に役立つように効率的に把握する手法を開発することを目的としている。

② は，適切な造林技術確立のための基礎情報を解明するため，熱帯林研究で未だ不十分な熱帯林の各森林型やその構成種と温度・水分等の環境条件との対応を地上調査と地上観測により調べるとともに，生理生態的な実験により主な構成種の環境特性を明らかにすることを目的としている。

③ は，② で解明された森林型毎の環境条件や地形条件等の環境情報を，主にリモートセンシングデータを用いて広域的に収集整備する手法を開発すると共に，この環境情報を加えた熱帯林のリモートセンシング的な区分手法および森林地帯の生態的なゾーニング手法の開発を目的としている。

(2) 研究対象地

これらの共同研究課題を遂行するため，昭和62年1月～3月にかけ海外現地調査を実施し，研究内容やスケジュールのつめ，研究対象地の選定，必要な資料の収集を行い，地上観測を開始した。

研究対象地として，2箇所別々の所に設定せざるを得なかった。雲のないランドサットデータの有無，森林伐採や焼き畑農耕の有無，天然林の残存状況，地上観測の便利さ等を勘案した結果である。

①の課題に対しては，首都 Kuala Lumpur（KL）の北部約 125 km に位置する Batang Padang 地区（約 10 万 ha）を選定した。Tapah 市を中心とした地域で森林伐採が行われており，そのための林道開発も行われている。Cameron Highlands までの国道沿いでは小規模ながら焼き畑農耕がみられる。

②，③の課題に対しては，首都 KL に隣接した Gombak 地区を選定した。マレーシア森林研究所（標高 70 m）から Genting Highlands（標高 1,600 m）までを含んでいる。この地区は半島部としては比較的自然状態に近い森林が残っており，森林研究所からも近く，交通も便利である。

図-1　研究対象地域
Batang Padang 地域と Gambak 地域

(3)　研究の内容と進行状況

①　森林モニタリング手法の開発研究の内容は次の項目より成る。

○モニタリングのための森林管理データベースの開発。
○多時期リモートセンシングデータの集積。
○森林管理情報の集積。
○森林資源変動解析技術の開発。
○空中写真・衛星画像の判読カード作成。
○森林モニタリングシステムの構築。

森林管理に必要な森林モニタリング用データベースシステムとして，①基準ファイル単位でデータの蓄積を行い，②緯経度座標系とローカル座標系の両者をサポートし，③地理座標を基にファイルの併合処理が行えるような機能を持つソフトウェアの開発を行った。そして，現地調査により対象地域における下記の既存資料を収集し，このデータベースに 50 m メッシュで集積した。

地形図（1/63,300），
行政区界・中流域界（1/63,300），
土壌図・地質図・水文図（1/500,000）

また，研究対象地区のランドサットデータリストから雲量の少ない最適な MSS データとして，1983.5.30，1984.6.1，1985.1.11 のデータを選び，画像の重ね合わせと基図への地図座標変換を行い，データベースに集積した。更に，研究対象地区内の一部において比較判例写真用の空中写真（1/40,000）を入手し，森林伐採，焼き畑，

林道開発等を示す空中写真・衛星画像からなる判読カードを作成した。そして，季節を同じくする1983年と1984年とのデータを用いて，主成分分析法と残差画像法により熱帯林の森林変化の解析可能性について検討した。主成分分析法では，植生の変化が第2主成分と第3主成分で強調されることが明らかになり，残差画像法は裸地や裸地化した部分が強調されるため，森林の皆伐箇所の解析に有効であることが明らかになった。しかし，熱帯林の変化は，かなり複雑であるため，いくつかの手法の組合せについて今後検討する予定である。

以上基礎的なシステムやデータの集積が完了した段階であり，62年度での終了に向けて研究を進めている。

② 熱帯林の森林区分と環境特性の解明

61年度に温度条件，62年度に水分条件，63年度に補足調査という大まかなスケジュールで現地観測を開始した。

マレーシア森林研究所（標高70 m）と Genting Highlands にあるマラヤ農科大学の水耕栽培実験施設（標高1,160 m）に気象計（気温，地温，湿度，風向，風速，雨量，日射）を設定し，2年間の予定で観測を行っている。また，道路沿いの林内11か所には最高最低温度計，同じく道路沿いの遮蔽物のない広場10か所には積算日射計（サンステーション）を設定した。

現地及び周辺の森林から5種の種子を入手し，日本に持ち帰った。これらは育苗した後，ファイトトロンを使用した実験に用いられる。しかし，実際の森林調査は滞在期間の短さや，森林内への立ち入り制限（共産ゲリラのためという）などもあって，概要の調査と文献の収集に留まり，次年以降に課題を残した。

成果としてここで紹介できるほどのものは今のところ少ない。これまでのデータから，気温の逓減率や雲霧帯の下限高度などがほぼ明らかになってきたが，二年間の観測でさらに確かなものにしてゆく計画である。

③ リモートセンシング技術による広域的な環境情報の収集法の開発

ランドサット・SPOT・MOS-1・NOAA 等の衛星データを最大限に利用し，気温，日照量，蒸散量，地形条件等の ② の課題で必要となる環境情報を広域的に収集解析する技術を開発することと，これらの環境情報と組み合わせてリモートセンシング的に森林型を解析する手法を開発することが研究の内容で，昭和62年度から開始する課題である。詳細については，次の機会に譲りたい。

(4) 共同研究を進める上での問題点

海外でのこのような共同研究を行うのは初めての経験でもあり，いろいろな問題が起こっている。共同研究契約の締結等は外交上の問題であるが，このような大きな問題はさておき，いくつかの実務的な問題点を挙げてみよう。

1) 空中写真（写真は機密文書に属する）の利用が困難であること，利用できたとしても縮尺が小さく，しかも，かなり古い写真であること，また，現地での森林調査が治安の問題（Black area と呼ばれ，コミュニスト活躍による）から難しいことなどによりグランドツルース収集に問題がある。そのため，地上分解能の高い衛星デー

タの画像判読的手法を最大限に利用する必要がある。

2) 熱帯地域ではどこでも同じであるが雲量の少ない衛星画像の取得が困難であり，雲に影響されない地点だけの解析をせざるを得ず，地域全体の解析が出来ない恐れがある。

3) 森林の伐採が日本の場合の皆伐方式と異なり単木択伐方式であること，焼き畑農耕も小規模なものが多いため，マレーシア熱帯林のモニタリングのためには新たな画像解析手法の開発が必要である。

4) この共同研究で収集し蓄積したデータは，全て相手機関と共通的に利用できるようにとの要請があるが，全てがコンピュータファイルとして整備される予定であり，相手機関に日本と同等のコンピュータシステムがないためデータ提供に問題がある。

5) 多頻度の落雷やそれによる停電により，気象計にトラブルが起きて，安定した観測が難しい。日本で行う施設実験には，マレーシアからの種子の供給が必要であるが，フタバガキ科の樹木に顕著な隔年結実現象などがあり，不安がある。

これらの他に，両国の会計年度の違い，研究システムの違い，機材持込みの関税の問題等多くの問題があるが，全てが短期間で解決できる問題ではなく，これらの制約の下で最大限の成果を挙げていく必要があると意を決している次第である。

6. おわりに

この共同研究には不十分ではあるが，各テーマに約一か月の海外調査旅費と各機関一名約二か月の招へいが認められている。このような制度は相互理解を深めるために極めて有意義であり，有効に利用していきたい。

マレーシアでの林業リモートセンシング研究はほんの初歩的な段階であるが，この共同研究が FRIM のリモートセンシング研究のスタートになり，今後の発展の基礎がために貢献できるものと確信している。

この共同研究はイコールパートナー主義がとられていて，機材や研究費の供与という予算がない。しかし，マレーシアにとっては新しい研究でもあり，画像解析装置や観測機材への要望が大きい。この共同研究が基礎となり，その応用プロジェクトが JICA により引き継がれることを要望したい。

この共同研究プロジェクトは始まったばかりで，成果をここでご紹介できなかったのは残念ですが，プロジェクト終了の頃に又この紙面をかりて紹介できる機会をもてることを期待しています。

この共同研究遂行にあたっては，現在，FRIM で進行している JICA プロジェクト「林産研究協力計画」で活躍しておられる山口チームリーダをはじめ，松田，山本，外崎専門家には，現地調査の折や観測機材の維持などで大変お世話になっています。この誌面をかりて御礼申し上げる次第です。

〔参考文献〕 1) マレーシアハンドブック '85, 1985, マレーシア日本人商工会議所 2) J. Wyatt-Smith : Manual of Malayan Silviculture for Inland , Malayan Forest Records No. 23 3) Forestry Department : 1985, Forestry in Peninsular Malaysia 4) JETRO 1985, マレーシアにおける木材産業の現状と今後の見通し