日本—インドネシア資源調査共同研究

古宇田　亮　一（鉱物資源部）・津　　宏　治（九州地域地質センター）
Ryoichi Kouda　　　　　　Koji Tsu

1.　熱帯環境における新しいアプローチ

昭和61年度から科学技術振興調整費による「アセアン諸国との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」（“アセアン・リモセン”と略称）が開始され日本国内11試験研究機関（うち8機関が筑波地区）と，ASEAN 3ケ国（タイ・マレーシア・インドネシア）が手を組んで衛星リモートセンシングデータを用いた国際共同研究が行われている。この共同研究は現在第2期に入っており，平成2年度まで継続される予定である（表1)。

地質調査所は“アセアン・リモセン”の熱帯環境特性に関する研究において，熱帯地域の非再生資源調査に関する研究をインドネシア国立科学院地質工学研究開発センター（RDCG）と共同で分担している（第1図)。

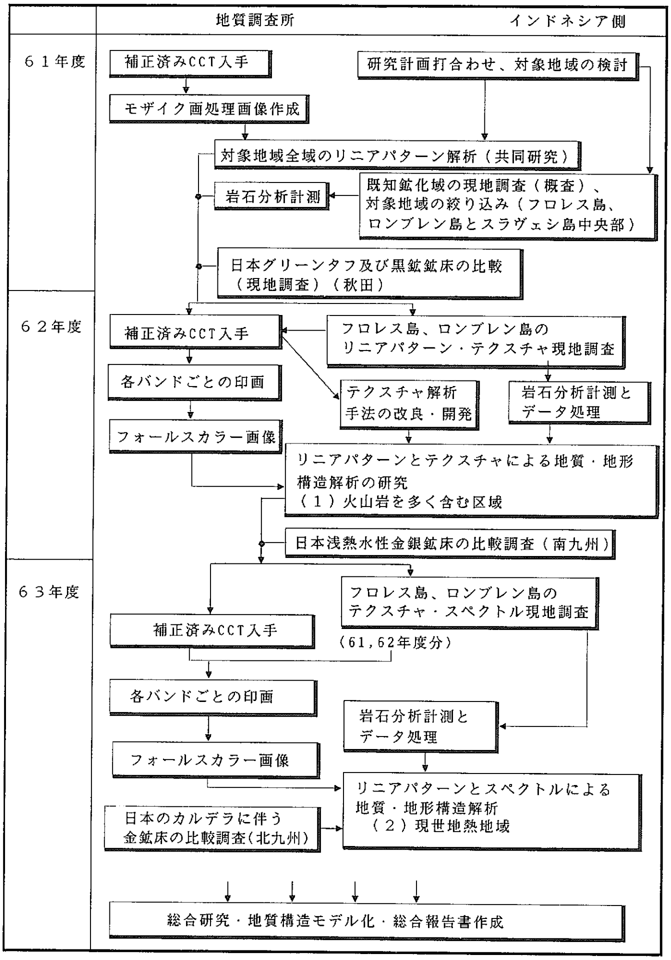
地質調査所では，これに先行する5年間（昭和56年〜60年）に同じ工業技術院の電子技術総合研究所と「リモートセンシングの利用実証に関する研究」を，やはり科学技術振興調整費により共同で実施していた。この「利用実証の研究」ではランドサット衛星の MSS 画像とTM画像を対象に，地質学的利用に有効な画像処理技術の開発とその実証を行い，主として電子技術総合研究所が選択的画像鮮鋭化法（SIS 法）やエッジ保存領域分割法（EPS 法）等，今では「古典」に数えられはじめている様々な画像処理法を開発した。又，主として地質調査所が担当したその実証過程において，カルデラ構造の多角形性や金銀鉱床分布との密接な関係等地質学的に新しい事実も判明している。

本文のあとに，村岡，宮崎，古宇田・スイヤントによる概要報告が各一編ずつ続く。これにより，この研究が直面している困難さに御理解をいただければ幸いである。本文では，研究全体を紹介しよう。

“アセアン・リモセン”では，先行したランドサット

表 1「アセアン諸国との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」の全体像（第Ⅱ期)。

研究項目	担当機関
1　リモートセンシング技術の高度化に関する研究	
（1）　多時期・多段階データ解析ソフトウェアに関する研究	科学技術庁研究開発局 （財）リモートセンシング技術センター（委託）
2　熱帯地域の環境特性等の解明に関する研究	
（1）　熱帯地域の土地利用状況調査に関する研究	建設省国土地理院
（2）　森林環境特性に関する研究	
①　熱帯林の広域的環境特性把握手法の開発	農林水産省林野庁森林総合研究所
②　植生環境改変調査手法の開発	環境庁国立公害研究所
（3）　農業環境特性に関する研究	
①　農業生産力把握手法の開発	農林水産省農業環境技術研究所
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	科学技術庁国立防災科学技術センター
ロ　洪水氾濫特性の把握に関する研究	建設省土木研究所
（4）　非再生資源調査に関する研究	通商産業省工業技術院地質調査所
3　研究推進	科学技術庁科学技術振興局、研究開発局



第1図　"アセアン・リモセン"の日本-インドネシア共同研究第1期研究計画（実際にこの通り進行した）。

衛星画像処理技術を前提に，更にフランスのSPOT衛星画像や日本のMOS-1衛星画像の処理に広げて，日本とは環境が全く異なる熱帯・亜熱帯地域のリモートセンシング技術による解析を発展させることになった。これは，現在，世界的に問題となっており，アルシュ・サミットでも重要議題になった地球環境問題解明のための総合的研究の走りであろう。

他研究機関が熱帯林や土地利用等，衛星画像で直接捉えることができる対象を課題としているのに比較して，地質調査所は「地下資源」という見えにくい対象を課題にしている。もっとも，乾燥地域の岩石露出地帯なら衛星画像でも直接岩石地質が観測できる。たとえば，地球環境における砂漠化の問題は，単に森林だけ見ていればよいわけではなく，現に砂漠化した地域や，砂漠になりつつある地域，森林と砂漠の境界における地質と気候等を解明する必要があるので，この方面では，衛星画像の地質学的研究も重要である。

しかし，「地下資源」を対象とする場合には，岩石露出地帯でもまだ十分ではない。その理由は，「地下資源」として利用価値のある物質は，一般に地表における徴候が小規模なため，空間分解能が10m～80m程度しかない衛星画像では見分け難いこと，又，地表にその一部を露出させている鉱床の多くは既に開発されているか掘りつくされていること等による。主たる対象は地表に見えない地下深部が大部分である。従って，その検証には，最終的に高価なボーリングが必要になる。

ボーリングはあまりに高価であるため，安価なリモートセンシングで，ボーリングを打つに適した所を捜そうというわけである。しかし，露出岩石が少なく森林等に被覆されている場合には，リモートセンシング画像の特徴の一つである地表物性情報（電磁波スペクトルの吸収・反射特性による）が著しく制限されて得られにくい。岩石露出が良くても，雪に覆われるとまた問題になる。

このように見ると，寒冷地帯を除く乾燥地帯ならばともかく，熱帯地域における資源調査用の手段としてはリモートセンシングがあまり有利でないように思われるかもしれない。事実，リモートセンシングの応用がこれほど広範囲に発展している中で，資源調査分野ではあまり大きな発展は知られていない。ところが，先行する「利用実証の研究」のおかげで，日本列島を対象に主としてパターン認識における技術を蓄積した地質調査所では，リモートセンシング画像のもう一つの特徴であるパターン情報（線状構造，テクスチャ等）の解析が地下資源の調査に役立つであろうとの確信を持っていた。そこで，熱帯環境という未知の領域にチャレンジすることになったのである。

2. RDCG—インドネシア国立科学院地質工学研究開発センター

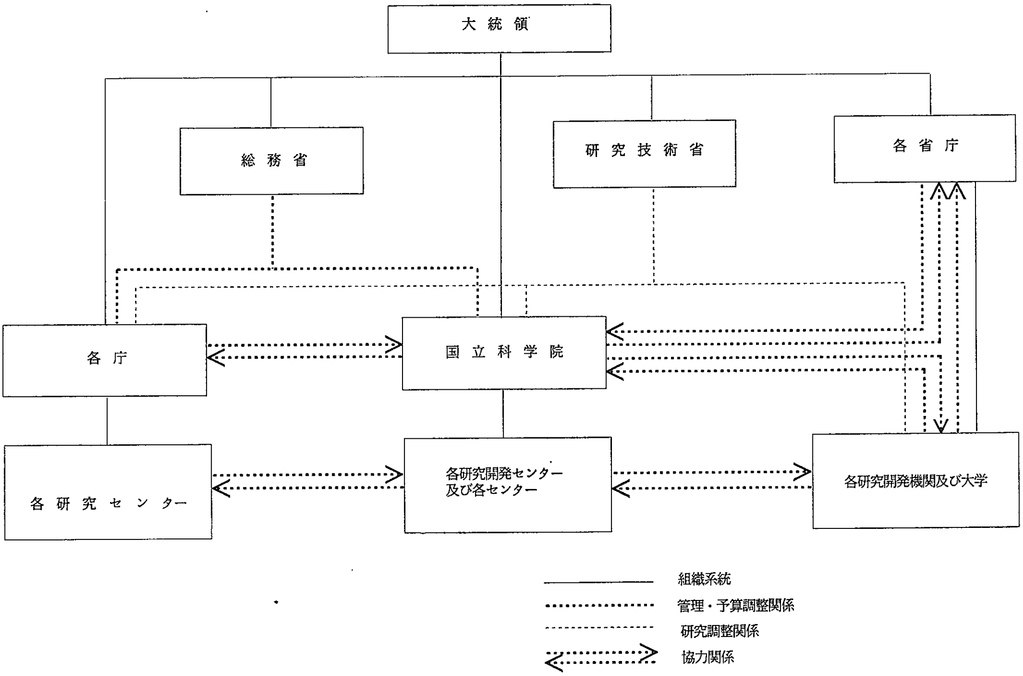
地質調査所の共同研究パートナーを紹介しよう。インドネシア共和国には，日本の各省庁に対応する政府機関がある。国立科学院（L.I.P.I.）もその一つであるが（写真1），日本には必ずしも一対一に該当するところが無

写真 1　ジャカルタの国立科学院本部

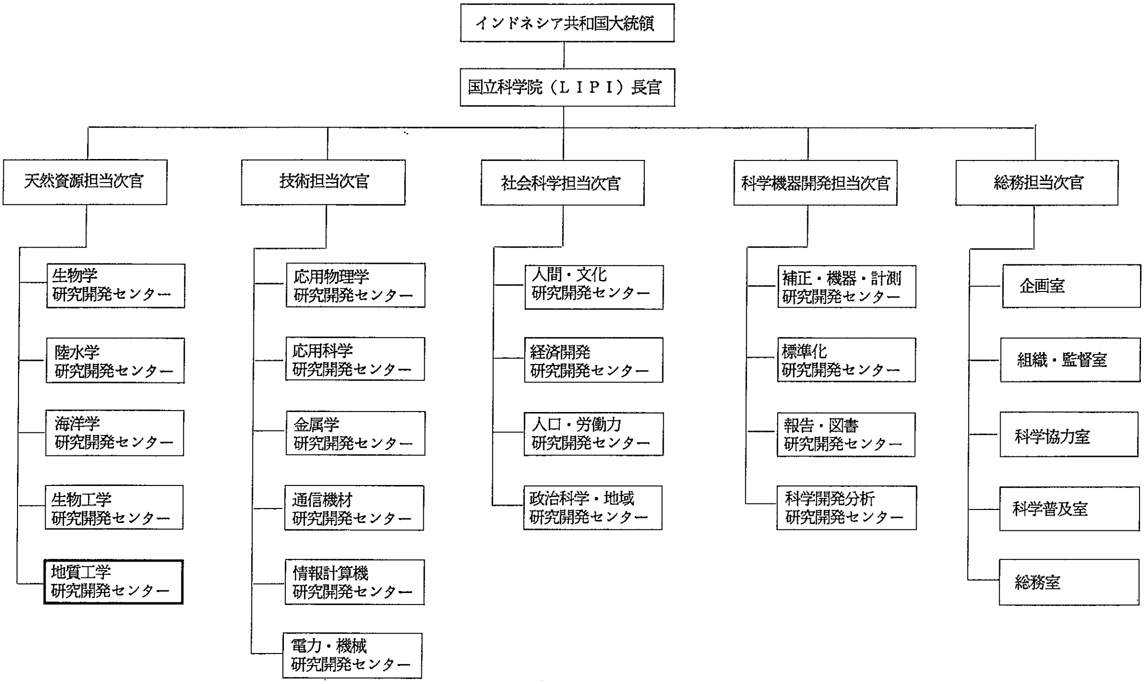
い。これは大統領に直属する advisory board であり，日本の総理府科学技術庁に似ているようで，必ずしも対応していないそうである（第2図）。

国立科学院には傘下の付属研究所がいくつかある（第3図）。その構成から見て基礎研究方面向きと思われる。共同研究の当初は，応用研究を旨とする日本側を受け入れてくれるか否かに不安があった。しかし，インドネシア側でも，実証を欠く基礎研究や社会的必要性とは無関係な研究のための研究をよしとしているわけではなく，この不安は単なる杞憂であった。もっとも，応用研究といっても，ここでは，単なる原理の応用ということではない。社会的要請がありながら，従来の基礎研究では光の当たらない分野で創造的寄与をなす，ということなので，むしろ欧米諸国の言う「基礎研究」に相当しているかもしれない。基礎的レベルも多く含むために，インドネシア側も受入れ易かったのだろう。基礎研究といっても，必ずしも創造的研究を指すわけではなく，実証を伴わない研究や，外国で既に解明された分野の追試などを指すこともあるので(それが悪いというのではないが)，時々行き違いが起こるようである。この研究は「応用」とはいえ，既に原理が確立した分野ではないので，ゼロから出発し，方法の全てを自分で創出していかざるを得なかった。ここで「応用」というのは，方法の確立にとどまらず，実際に適用して検証するためである。

ところで，地質工学研究開発センター（RDCG）は人手不足である（第4図，写真2，3）。現在の定員120名，そのうち研究者70名は必ずしも小さくはないが，多岐にわたる地球科学の各分野を担当するには少ない。それにインドネシア共和国の国土の広大さと資源の豊富さ，赤道



第2図　インドネシア国立科学院（大統領に直属）の位置



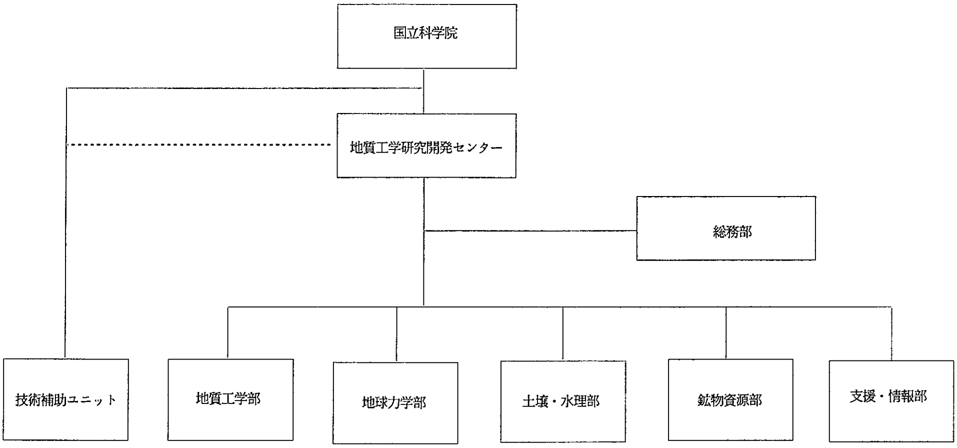
第3図　国立科学院傘下の研究組織

両側に占める地球環境上の重要さ等から見て，「地質工学」という面に絞ってもやはり少なすぎるだろう。

しかも，若手研究者を世界水準に引き上げるため，欧・米・豪・加や日本などにその貴重な人材を留学生として長期派遣している。日本にも RDCG から5人ほど，大変熱心な研究者が大学や地質調査所に滞在している。

リモートセンシングのインドネシア共和国側共同研究指導者は Suwijanto さん（写真4）である。インドネシア共和国では，一般に姓名が1語であることが多い。

しかし，最近は欧米流に2つか3つ持つ若い人も増えているという。Suwijanto さんは伝統的呼び名であるが，有名なバンドン工科大学を卒業後，オランダ，ドイツ等に留学して写真地質学を専攻されたなかなかの知識人。幅の広い知識とユーモアのセンスあふれる洞察の鋭さにしばしば感嘆させられる。現在 RDCG の地球力学部長を務めておられる。半年ほど日本のリモートセンシ



Organization Structure of RDCG

第4図　地質工学研究開発センターの組織

写真 2　地質工学研究開発センター（バンドン）

写真 3　地質工学研究開発センターの入口

ング技術センターで衛星リモートセンシングの研修を受け，日本にも知己が多い。

この Suwijanto さんの下にリモートセンシング技術の地質学的応用を目指す若い研究者達が集まっている。

地球化学の Bambang S. Kartadiredja さん，地球物理学の Edy M. Arsadi さん，構造地質学の Suhariono さん等である。Edy さんは昨年京都大学の大学院を無事終了したばかりで日本語もペラペラ。皆，このリモートセンシング技術の高度化とその応用の共同研究のため，地質調査所に滞在したことがある。

3.　資源調査の共同研究

（1）　資源調査の企画

インドネシア共和国東部（小スンダ列島）地域は西部（大スンダ列島；スマトラ，ジャワを含む；写真5）と異なり，海洋性のサバンナ砂漠地帯を含む乾燥した気候条件にある。その為，岩石が地表に露出し，リモートセンシング画像で地質特徴を調べることが可能である。しかし，上空は雲に覆われていることが多く，良好な画像は希にしか得ることができない。

小スンダ列島地域には，伝統的産業以外，特に無く，人口流出と砂漠化の進行が一部で問題となっている。

ロンブレン島は，小スンダ列島の中央部に位置し，秀麗な富士山型の活火山と，7月期のみ行われる伝統的捕鯨，及び，特産品の布地で知られている（写真6）。東西 60km，南北 40km で，北東に長く延びた形をしている。人口5万人ほどが住み，人口の流出と砂漠化に悩まされている。インドネシア唯一の重晶石鉱山（石油の掘削泥に使われる）が最近開かれたが，道路事情もわるく，開発が進んでいない。この地域で資源開発が行われ，インフラストラクチャの投資が行われるなら，人口流出を止め，緑の復活等環境保全にも貢献するであろう。

日本とインドネシア両国で協議した研究計画の最初の3年間は第1図にあるように，パターン情報を基に資源に関係のありそうな地質構造をリモートセンシングデー

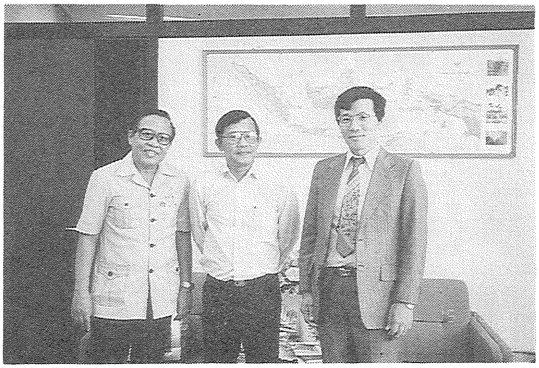


写真 4　国立科学院（ジャカルタ）で研究協力協議を無事終えて，左から天然資源担当次官のスギアルト氏，中央スイヤント氏，右は津。

写真 5　インドネシア・ジャワ島南西海岸における熱帯林とインド洋岸

写真 6　ロンブレン島のレオトロ・イレアペと夕景色。
イレアペとは火（イレ）山（アペ）の現地語

タから得るというものである。既に開発の進んでいる鉱床の場合は，特有の露天掘り採掘の岩石露出や，運搬用道路網，施設などが宇宙から見える場合もある。しかし，何も調査が進んでいない場合には，鉱床そのものが画像で判明することはまず無い。というより，始めから，画像中に有望な鉱床を見出すことは皆無だと思った方がよい。リモートセンシング画像のパターン情報を解析するのは，直接鉱床を見つけるためではなくて，鉱床の存在に深く関係のある様なパターンを見つけるためなのである。それによって，現地実証調査でパターン解析から予測された構造，たとえば断層や褶曲，陥没などの存在の有無が確認できる。鉱床が有りそうな地域には，地球物理，地球化学，そして地質学的な調査研究が引続くことになるだろう。運が良ければ，現地調査で鉱床に当るかもしれない。

リモートセンシングで共同研究をするに当り，インドネシア東部のスラヴェシ島（特にその中央部）と小スンダ列島（特にフローレス島，ロンブレン島）が選ばれた。資源調査があまり進んでいないインドネシア共和国の中でも，リモートセンシング手法は，未解明のことが多く，現地調査のし難い地域に最適と考えられたからである。実際に現地調査して良くわかったことだが，「現地調査しにくい」というより，難行苦行の連続で，なるほど今まで調査が進んでいないという理由が体得できた。しかし，事前計画の段階ではそこまで考え及ばなかったのである。

（2） ランドサット衛星画像

まず1971年の1号から現在の5号まで継続して運行中のランドサット衛星ＭＳＳ画像の1シーン180km四方を24枚組み合せて，当該地域の概査を行った。海域も含めて約70万km^2に及ぶ地域である。当然地質学的に面白い所が無数に出てくる。又，焼畑の存在は一目瞭然であるが，これらの多くは古い画像であり，インドネシア政府は焼畑を解消すべく懸命の努力をしているところである。森林の分布とその減退や地質との対応等環境的に興味深いところが次々と観察できる。しかし，この研究は，非再生資源調査を掲げている。時間も予算も人も大変に限られている。見て面白い所は，面白がるだけにして，慣れない人が見ても面白くなさそうな，資源に関係ある構造を捜すことにした。

日本の経験から，カルデラ陥没域が熱水鉱床の場として有望なことがわかっている。陥没域候補をＭＳＳ画像から捜した。これは多角形環状構造や円環的構造を描出すればよく，計算機処理には向いていないが，出力された引伸ばし写真から人間の目で判読するには容易な対象である。ただし，抽出されたものが，そもそも火山性か，本当に陥没しているのか，断層や断裂帯が実在するのか，といった点についてはＭＳＳ画像だけではよくわからない。判読で限定抽出した地域について，より空間分解能の優れた衛星画像や現地調査等で検証する必要がある。

火山性か否かは，近くに火山帯があることを条件に，分解能10mの SPOT 衛星画像の判読等で確度を高め，現地調査で確認した。陥没があるか否かは，現地調査でもある程度推定できる場合もあるが，最終的に現地調査時に重力測定を行って，確認実証している。

衛星画像のディジタル処理は大変役に立った。この方法は客観的な線構造抽出処理と，岩体分布の決め手になったテクスチャ処理を提供した。この両者は，従来，目視判読に頼ることが多く，個人差や見落とし等に悩まされることが多かった。ディジタル処理でも「見落とし」や理由の明らかでない結果の出ることがあるが，人力処理に比べ，その率が少ない。電子技術総合研究所のパターン処理技術開発の成果を大幅に継承した地質調査所は，この方面で有利な位置にいたといえよう。

（3） SPOT 衛星画像

ＭＳＳ画像から進んで，ＳＰＯＴ画像やＭＯＳ-1画像を利用する時，画像の取得が天候に左右されるという問題が困難さを増大させた.「利用実証の研究」時のランドサットＴＭ画像の入手時にも生じた問題であるが，快晴時の画像が簡単にはとれないのである。

人工衛星自体は大気圏外の宇宙空間を飛んでいるので，その飛翔に天候は関係ない。問題は地上を撮影する時，中間に漂う雲である。日本や東南アジアのように，年間を通じて雨量の多い所では，乾燥期であっても雲が多い。地球観測衛星は反復して同一地域を何度でも撮影できる利点があるが，その間隔は10数日単位という長さであるため，雲のない画像が得られるのはまれである。

衛星画像情報には雲量という表示があり，それがゼロパーセントなら雲がないことになっている。ところが，ゼロパーセントであっても，実際に入手する画像では，雲のあることが普通である。余計なことに，この雲は海域より陸域に集中する傾向がある。そのため，雲量10パーセントという表示に安心してデータを入手すると，海だけ快晴で陸（島）は全域雲におおわれ，解析不可能などと言うことが現実に頻繁に起こる。この画像は1シーン数十万円から，高いもので百万円以上するから，いくら博奕性の高い買物とは言え，少ない研究費をヤリクリするこの種のプロジェクトにとっては大変な負担である。画像が購入できなければ，その年のプロジェクトは意味をなさなくなってしまう。現地の天候まかせという，神頼みもきかない（日本の神様はインドネシアには居ないから……）胃の痛くなる様な“研究”ではある。

そこで，できる限り広く網を張り，雲のない画像は簡単に撮れるはずがないからと，研究費の許容範囲を越えた撮影リクエストを出す。万一，全て良好な画像が撮れた場合は，それを引き取る（購入する）義務が発生し，そんな予算はないので，サーカスの綱渡りの様なものだ。幸い，結果的には良好な画像がロンブレン島のみで4～5枚撮れただけだったので，“破産”せずに済んでいる次第である。

（4） 現地調査

このように“苦心”して得た画像から線状構造図やテクスチャ分布図を作成，判読結果を加えて地質図らしきものにまとめていく。そして現地調査に入る。現地調査は，ロンブレン島の現地滞在わずか4～5日という短期間に地質分布図の検証をし，構造を確かめ，分析用に岩石を採取，更に鉱脈状況も，有れば調査するなど盛り沢山である。ここだけの話だが，全部の遂行は不可能だった。これは，現地に往復するまで4～5日かかるためと，予算が少ないのに，効率的に仕事を進めるため最低2人の派遣が必要等の制約からきている。

真面目な研究者なら，こんな計画は不可能と投げてしまうであろうし，多分その方が正しいかもしれない。けれども，このプロジェクトに参加した日本側研究者は波乱万丈の冒険好きばかりだった。インドネシア側共同研究者はといえば，正反対に真摯でかつ緻密な調査計画を立てていただいた。例えば，現地入りするのに，途中週に3回あるかなきかの航空便がもし遅れたり欠航したりすると，格安航空券で来た身としては，予定していたジャカルタからの帰国の便に乗れない可能性が出てしまう。このプロジェクトは，よくよく，サーカス的ハラハラ・ドキドキにつきまとわれていたようである。3回の現地調査が事故なく完了したのは天佑と言うべきか，イスラムの唯一神もほほ笑んでくれたのだろうか。最後に新発見の金鉱脈にたどりつくことができたのは，運が良かっただけのことなのだ。筆者らとしては，リモートセンシングで推定した陥没構造が本当に有ることがわかっただけでも，驚きであり，感激したことである。

この共同研究では，3年間に日本とインドネシア共和国との間で，延べ14名（日本側6名，インドネシア側8名）の実質的な研究者交流が実現できた。制約された予算条件で達成されたこの数字は如何に両国の間で緊密かつ和気合々と研究が進行したかを物語るものであろう。それは，両国の将来の友好にも大いに助けになると信じたい。これこそが国際共同研究の本当の成果になるのではないだろうか。

本研究の立ち上げに御尽力給わった資源観測解析センター駒井二郎部長，岩下篤課長，元所員の高橋清博士（現バンコク国連事務所），インドネシア側でお世話いただいたS. Suparka RDCG 所長，本研究の事務をとりしきり，無数の価値ある援助をしていただいた工業技術院国際研究協力課の坂口正之さん，科学技術庁宇宙開発課の日谷道夫さんと高橋永寿さん，地質調査所国際協力室の皆さん，そしてセクレタリとして多量の仕事をこなされた岸井範子さんに敬意を表し，厚く御礼申し上げる次第です。

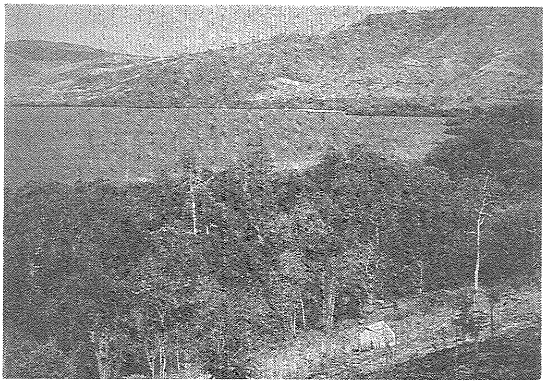


写真7　ロンブレン島北岸の一般的風景
海岸寄りにのみ熱帯林が密集し，熔岩台地を主とする内陸はサバンナ砂漠地帯で，草に乏しく，木もまばらである。