

衛星写真判読による小縮尺地形分類図の試作

——ジャワ島東部の場合——

大 矢 雅 彦*

Preparing a Small Scale Geomorphological Land Classification Map of the Eastern Part of Java Utilizing Photographs by the Earth Resources Technology Satellite (ERTS)

by

Masahiko OYA

When one wants to research land or water resources in Southeast Asia, one meets difficulties in using topographical maps or aerial photographs, because security considerations make governments worry of mapping operations. Therefore, instead of using aerial photographs, the writer has attempted to use photographs taken by ERTS which have no restrictions their use. An area of the eastern part of Java was selected partly because when photographs were taken, there were no clouds, and partly because many active volcanoes, the largest alluvial plain in Java, and a big city (Surabaya) are included in the photograph. Utilizing these photographs, the writer has classified the area geomorphologically and found the following facts.

(1) When one wants to classify land geomorphologically, the 7th band, i. e. near infrared, photographs are most suitable. In these photographs, water surfaces: rivers, lakes, seas, etc. appear black, and marshes as light black; on the other hand, dry areas: the tops of volcanoes and natural levees, appear white. Utilizing this color contrast, we can classify the area.

(2) Utilizing mainly photographs by ERTS, topographical maps or geological maps as supplements, the writer could classify the area into the following geomorphological elements: volcano, hill, terrace and alluvial plain.

(3) Volcanoes could be classified as follows: crater or caldera, volcanoes with large relief energy and those with small relief energy, and piedmont gentle slopes. The walls of calderas are shown very clearly in the photographs and one can measure their diameter. Furthermore, one can see the central cone in calderas. A volcano which has large relief energy is shown as white due to the fact that the ground water level is deep; on the other hand a volcano which has small relief energy is a light black color. And one can observe the size and number of valleys. Based on the state of the valley, one can divide the volcanoes into young volcanoes and old volcanoes. Furthermore, we could see the relationship between erosion on the steep slopes of mountains and deposition at the foot of these mountains. Using the present state of erosion and deposition, one can estimate erosion and deposition which will occur in the near future, too.

(4) The hills and terraces are classified as follows: tertiary hills, limestone terraces, and terraces. We could trace the boundary of the limestone terrace due to its special relief pattern against the terrace.

(5) The alluvial plain is divided into two parts: natural levees and back-swamp, and delta areas. Furthermore, we could estimate agents of back-swamp formation by photo interpretation.

* 早稲田大学教育学部地理学研究室

I は し が き

近年東南アジアにおいて、技術あるいは経済援助に関連して、土地あるいは水の調査をする機会が著しく増加してきている。東南アジアの場合、日本での調査と異なって多くの困難があるが、なかでも地形図、空中写真の利用の著しい制約はその最たるものの一つであるといえよう。

地形図に関しては幸いに京都大学東南アジア研究センター、アジア経済研究所に戦前のものから戦後米軍極東地図局 (U. S. Army Map Service) あるいは現地政府で作成されたものまでかなり整理され、地図目録^{1,2)} も出版されている。このほか、お茶の水女子大学、立教大学、広島大学、早稲田大学等の地理学教室あるいは東南アジアの開発に関する諸機関にもある程度集められ、それらのうち主題図については科学技術庁資源調査所より目録³⁾ が出版されている。したがって地形図に関しては日本国内である程度見ることができる。

しかし、空中写真に関しては東南アジア全域が米軍極東地図局により撮影され (縮尺約 4 万分の 1)、また各国において植民地時代より現在に至るまでかなり撮影されているにもかかわらず、一部の地域で特定の仕事をする場合、政府間の了解が得られた時のみ使用できるにすぎないのである。⁴⁾ この場合でも、国外搬出は極めて困難である。

そこで、今回、利用上制約のない衛星写真を用いて地形分類を行なうと、どの程度まで判読可能かを試みることにした。衛星写真は空中写真と同様植生、土地利用、気象など利用範囲は広いが、今回は地形判読にのみ限定することとした。

II 方 法

1. 衛星写真

地形分類にあたっては、資源実験衛星 (Earth Resources Technology Satellite) 写真判読を中心とし、これに地形図、地質図を併用した。

資源衛星は 1972 年 7 月 23 日に第 1 号 (丸安隆和ほか, 1974)、1975 年 1 月 22 日に第 2 号が打ち上げられ、現在は 2 個で同一地点を 9 日ごとに撮影するようになっており、最近は LANDSAT と改名された (細井将右, 1975)。

衛星写真は日本に輸入されてから日なお浅く、また利用が一部の人々、とくにコンピューター関係の人々に限られ、これを利用しての地形、土壌判読の方法はまだほとんど確立されてい

- 1) 高谷好一 (1975) 京都大学東南アジア研究センター『アジア地域地図目録』
- 2) アジア経済研究所 (1971)『発展途上地域地図目録』
- 3) 科学技術庁資源調査所 (1973)「地図類の所蔵に関するアンケート調査結果」
- 4) 日本が Mekong 川開発計画をした場合は米軍地図局のもののほか、Mekong 委員会の依頼でカナダが作成した空中写真を利用した。Brahmaputra-Jamuna 川架橋計画では、1974 年に日本が撮影した最も新しいもののほか、現地政府でほとんど 10 年おきに撮影されている写真を利用した。

ない。とくに、日本以外の地域については写真の入手が困難であったため、日本人による海外調査においての利用は皆無であった。筆者は1974年にバングラデシュの衛星写真を入手、これをもとに100万分の1の Brahmaputra-Jamuna 平野地形分類図を作成した。この時衛星写真判読にも空中写真判読の技術がかなり役立つことがわかった。今回もバングラデシュで行なったと同一の方法によって、ジャワ島で地形分類を行なった。なお、利用した写真が撮影された同じ年の12月に約10日間現地を概査した。

2. 写真の選定

1972年9月12日～11月18日にかけての衛星写真により、比較的雲量の少ないものを選出し、これによって100万分の1のジャワ島のモザイク写真を作成した。ジャワの気候特性から、全島が完全な乾季になる時期がないので、全島を雲量0の写真でおおうことはできなかった。

本稿には、雲量0の時のジャワ最大の平野を持つ Brantas 川と、活火山およびスラバヤ市を含む東部ジャワの一枚を掲載し、この写真とこれをもとに行なった地形分類との関係を中心に説明する。

衛星写真は従来のカラー写真と異なり、マルチスペクトル写真になっている。この写真は地上物体の反射光の波長域をいくつかのバンドに分け、それぞれの強さを別々に白黒写真としている。資源衛星1号はリターン・ビーム・ヴィジコン(RBV)カメラが故障したので、第1バンドより第3バンドまでの写真はなく、第4、第5、第6、第7の四つのバンドである。それぞれのバンドの波長は表1のとおりである。

表1 ERTS 写真のバンドと波長

バンド	波 長	色
第4バンド	0.5～0.6 μm	みどり
第5バンド	0.6～0.7 μm	だいだい
第6バンド	0.7～0.8 μm	近赤外
第7バンド	0.8～0.9 μm	近赤外

各バンドの写真にはかなり特色がある。

第4バンドの写真(写真1)は波長が短いため、水中に達した光が泥水で反射し、あるいは雲でも反射し、白く写っている。したがって、雲あるいは水の汚濁等を調査するには便利であるが、土地の調査には不便である。マドゥラ島とジャワ島との間の海峡には Solo 川等が熱帯の河川特有の細泥を多量に海中に流出し、それが写真に白く写っている。一方陸上においては火山山頂部の植生が黒く写っているが、全般に白くぼけ、Brantas 川等の河川は不明瞭である。

第5バンド(写真2)はみどりを吸収する。したがって、森林に被覆されている部分は黒くなる。写真左下の黒い部分は Willis, Liman, 写真右下の黒い部分の上部が Ardjuno, Andjasmoro, 下部が Kawi および Kelud の諸火山である。これらの火山の山頂付近は低温多雨であって森林に被覆されている。また、平野でも Brantas 川の中・下流部に黒く写っている部分がある。これは自然堤防あるいはデルタ上にバナナ、竹林、椰子林等が多いためである。以上のことからわかるように、このバンドの写真は植生あるいは土地利用調査に適している。

大矢：衛星写真判読による小縮尺地形分類図の試作

第6バンド(写真3)および第7バンド(写真4)は共に近赤外写真である。これは波長が長いため雲を通過する。そして、海、湖、河川等の水体は光を吸収して真黒となり、湿地もうす黒く写っている。Solo 川, Brantas 川等の河川および火口湖が明瞭になる。そのかわり、第5バンドで見ることでできた植生あるいは海中の泥水は見られない。また、乾燥地域は白く写



写真1 第4バンド(東北ジャワ)

っている。第6バンドと第7バンドとを比較すると第7バンドのほうが明瞭である。以上のことからわかるように、地形、地質等土地の調査には第7バンドを使用するのが最もよい。そこで今回は第7バンド（写真4）を用いて地形分類図（Fig. 1）を作成した。⁵⁾

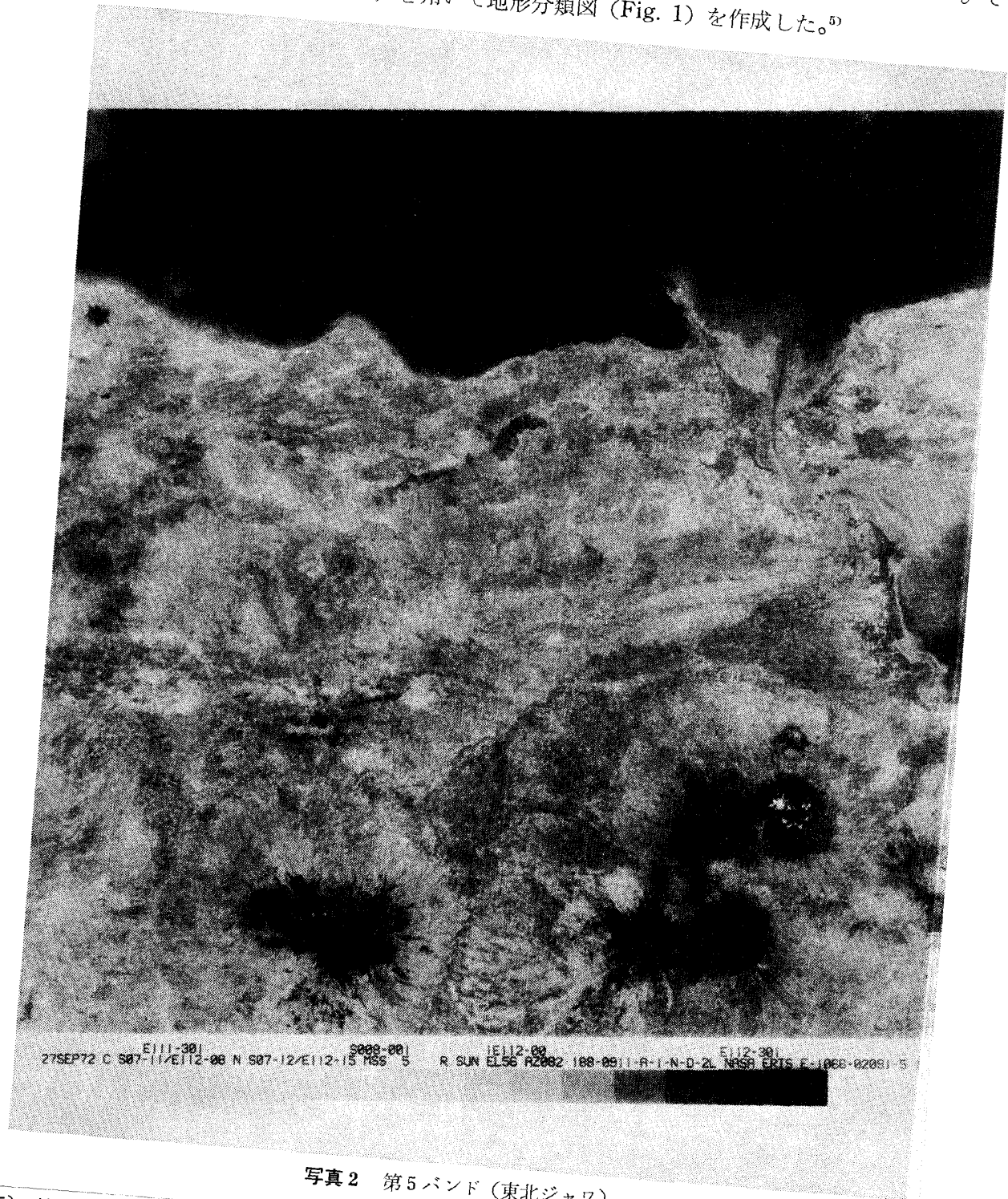
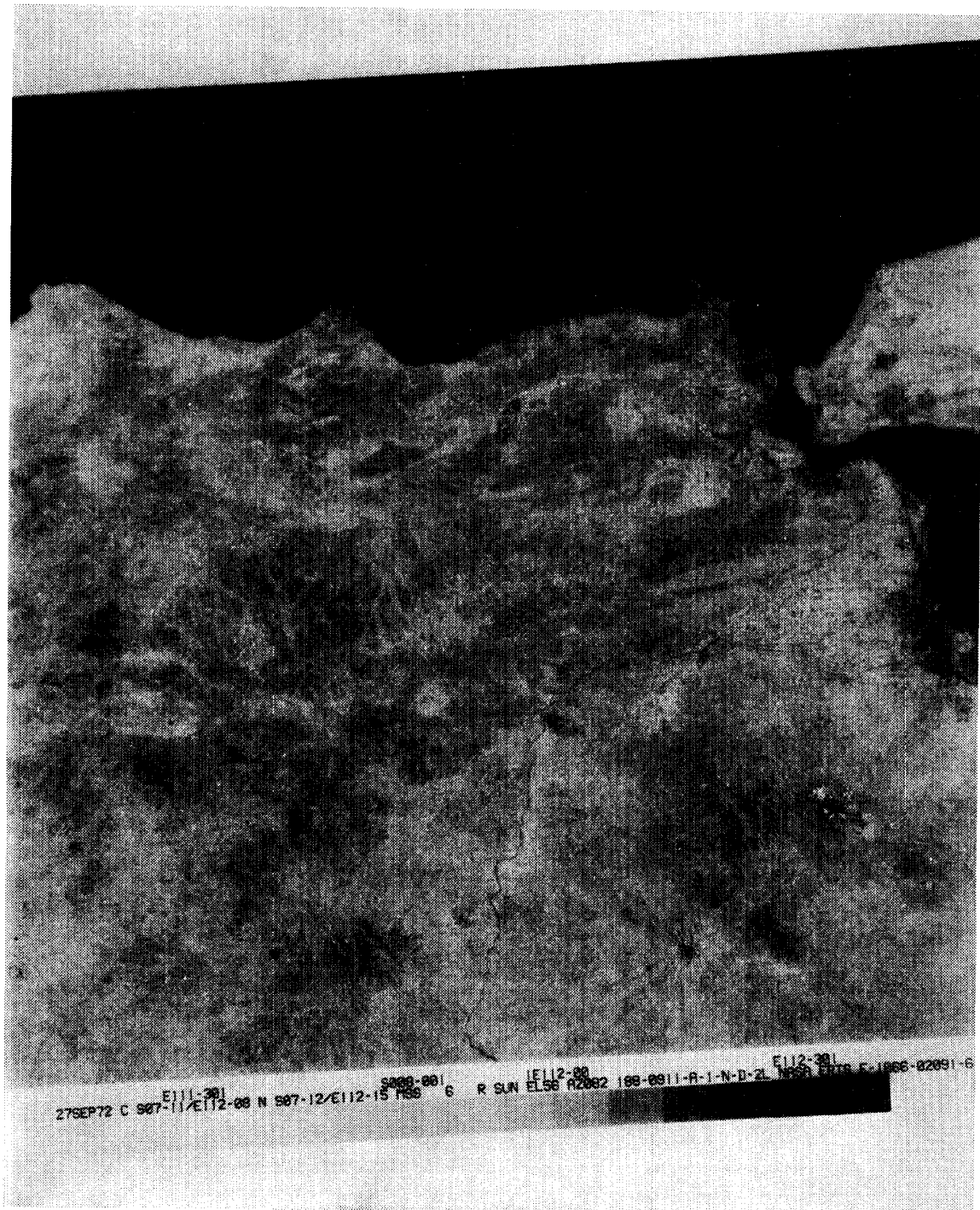


写真2 第5バンド（東北ジャワ）

- 5) 地形分類図はこの写真ともう一枚その南側の写真の範囲まで入れてある。



475

地質図は ECAFE 作成の400万分の1のほか、100万分の1、インドネシア政府作成の25万分の1の図がある。これらの地質図により、ある程度どの種類の岩石がどの付近に分布しているかの見当をつけることができた。しかし、地質図に示されている岩石の分布範囲は小縮尺のためか、それほど正確であるとは思われなかった。

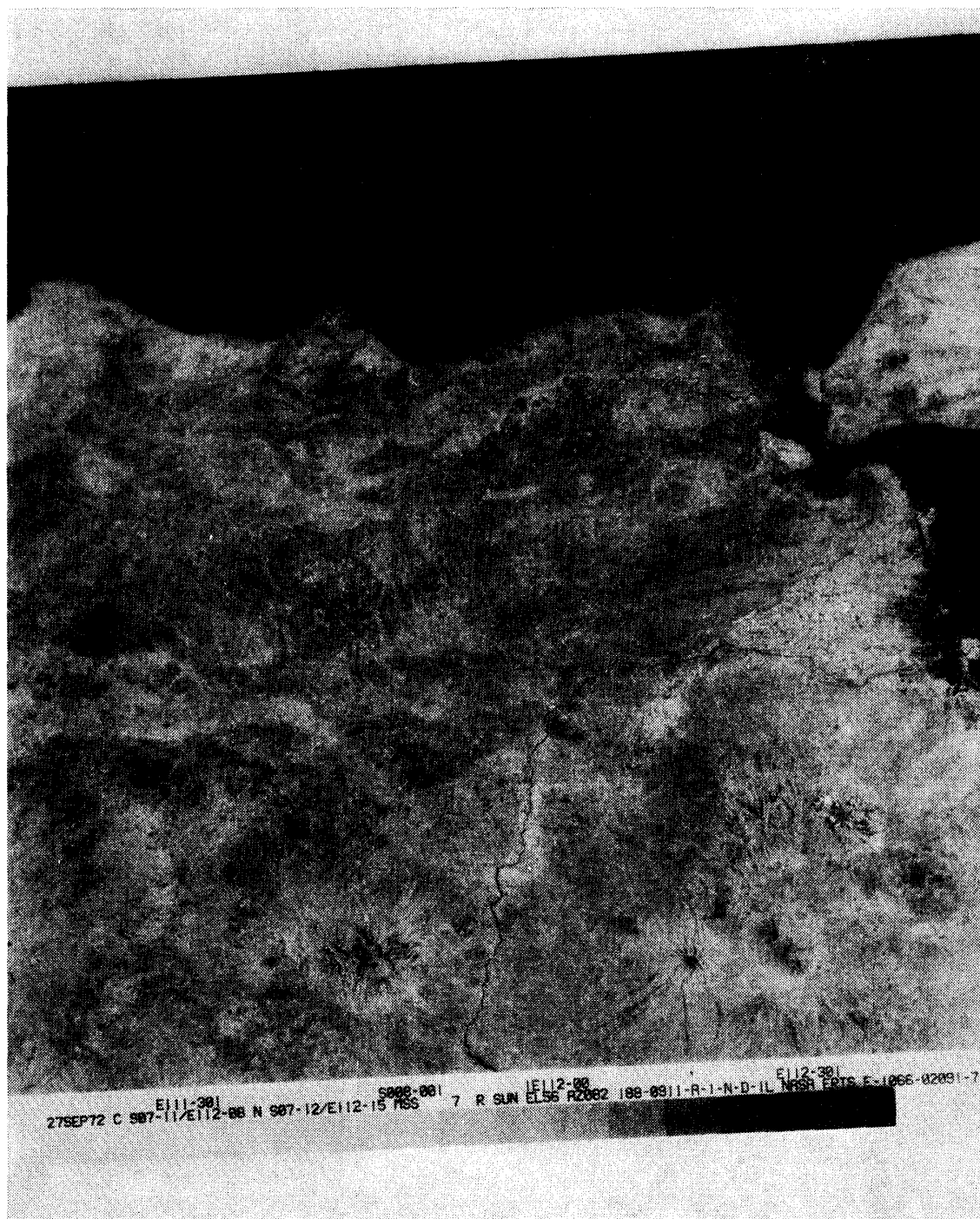


写真4 第7バンド（東北ジャワ）

衛星写真、地形図、地質図の3者を併用して地形分類を行なったが、面的に最も精度の高いのはいうまでもなく衛星写真であり、これなくしては地形分類はできなかった。また、衛星写真が90~95万メートルもの高度より撮影されているため、撮影された土地の形は平射図法によって描かれた地図と同様であり、この点地図との対照が空中写真の場合より容易であった。

III 地形分類

表2 地形分類

大分類	小分類
火山	火口またはカルデラ 大起伏火山(高度:大部分1,000 m以上 起伏量:大部分1,100 m以上) 小起伏火山または火山山麓緩斜面 (高度:大部分1,000 m以下 起伏量:大部分1,100~100m)
丘陵 台地	第3紀層丘陵 石灰岩台地 洪積層台地
沖積平野	自然堤防 後背湿地 デルタ

1. 地形要素

この地域の地形を表2のような地形要素に分類した。

以下写真4と地形分類図(Fig. 1)とを対照して見ていただきたい。

2. 火山

ジャワの地形を最も特色づけているのは火山である。この地域においても Brantas 川の左岸側に Wilis (2,169m), Liman(2,563m), 右岸側に Ardjuno (3,339m), Andjasmoro (2,282m), Kawi (2,651m), Kelud

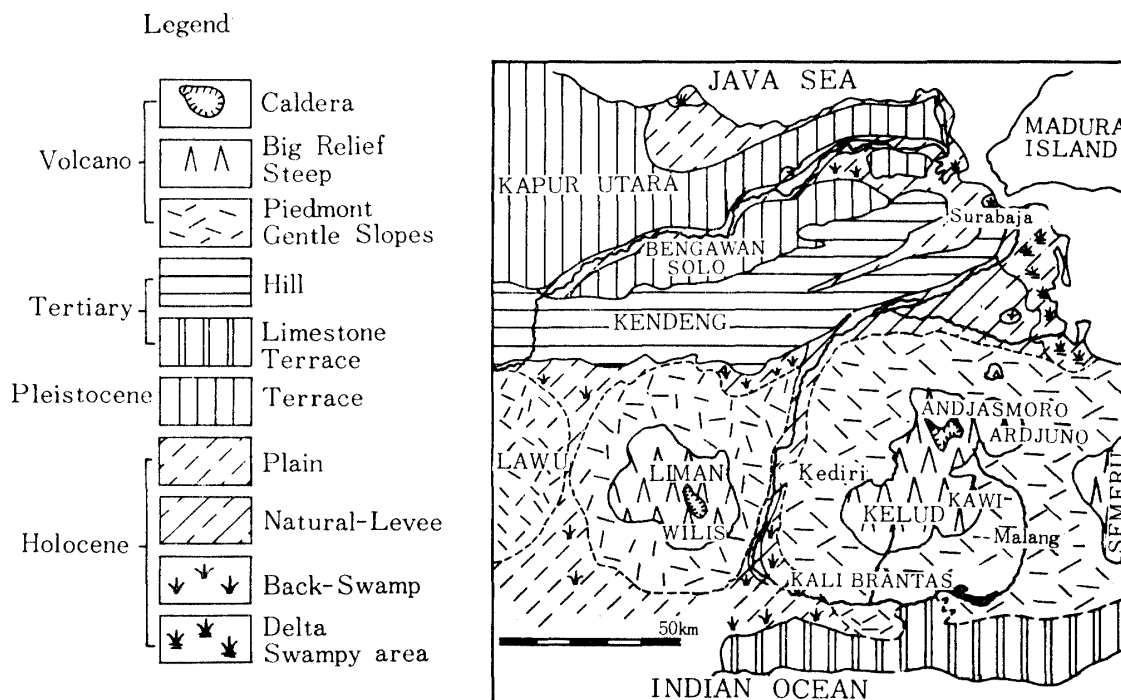


Fig. 1 Provisional Geomorphological Land-classification Map of East Java

(1,731m) 等の火山がそびえている。これらの火山はだいたいコニーデ式火山で、大起伏火山を中心に小起伏火山または火山山麓緩斜面がこれを同心円状にとり囲んでいる。これらの火山は熔岩よりも火山灰を噴出することが多い。また、山頂部は降水量が多いので、Wilis, Kelud 等の火口は湖となっている。また、大カルデラを持っているものも多く、衛星写真でも明瞭にカルデラ壁を認めることができる。Andjasmoro のカルデラは二つのカルデラの組み合わせからなり、東西方向で直径は約10km あり、東部のカルデラの中には新しく形成された中央火口丘が見られる。Wilis, Liman のカルデラも明瞭に見える。

活火山が多いため、降灰が固まっておらず、傾斜が急で降雨が多いため、地すべりを伴う侵蝕作用が激しく行なわれている。写真では侵蝕谷は黒く写っている。Andjasmoro 火山は多くの深い谷で刻まれているが、Kelud はほとんど侵蝕されていない。これは Kelud が今なお時々火山灰を降らせているからである。

小起伏火山 または 火山山麓緩斜面もかなり侵蝕の進んだものとそうでないものがある。Kawi は新しい火山灰で被覆されていて谷は少ないが、Andjasmoro, Ardjuno の山麓はかなり侵蝕が進んでいる。とくに Andjasmoro の北西麓はかなり侵蝕されてしまって、その部分に火山山麓の湧泉の水が加わって比較的湿潤な土地となっているらしく、写真ではうす黒く写っている。ここで侵蝕された物質は Brantas 川のほうへ移動、そこで堆積しており、この堆積物は写真では白く写っている。

3. 石灰岩台地

南部のインド洋側に分布する。北部にも分布するが、Merapi 起源の火山灰が Solo 川沿いでは4m も被覆しているので、ここは単に台地とした。南部の石灰岩台地は塊状石灰岩であって海岸から陰しくそびえたち、熱帯性カルスト景観を呈している。ジャワでは石灰岩は一般的には厚い層をなし孔隙が多く、水系が地下に存在するため、地表は一般に乾燥した不毛の地となっており、農業開発には不適當な所である。衛星写真でも独特のヒダのある地形である。

4. 第3紀層丘陵・台地

Kendeng 山脈は東西に連なる丘陵であり、衛星写真から容易に判読できる。地質図との対照で第3紀丘陵とした。Solo 川はこの Kendeng 山脈をスラカルタ（ソロ）東方で小規模な横谷で切っているが、この峡谷の両岸は凝灰角礫岩からなっている。

Solo 川の北側には海に平行に Kapur-Utara 山脈という台地が連なる。

5. 沖積平野

Brantas 川の下流にはジャワ最大の平野が三角形に発達している。また、Solo 川に沿って狭長な平野がある。これらの沖積平野の特色は、平野地形形成に火山活動がかなり影響を与えていることである。

扇状地の構成物質は主として火山噴出物からなり、扇頂部が火山山麓緩斜面へと連なってい

るため、扇状地はあまり明瞭な地形要素とはなっていない。火山活動が休止し、火山噴出物の供給が停止すると、扇状地は侵蝕され、下流側に新しい堆積地形を生ずる。

自然堤防も火山噴出物が河川によって運搬されてきて河道にそって堆積し、形成される。Brantas 川に沿う自然堤防もこのようにして形成されたもので、写真では白く写っている。この自然堤防にさえぎられ、Brantas 川の左岸では Liman 火山山麓との間が排水不良の湿地となっており、その対策が望まれている。

デルタもその発展と火山活動とが関係しているらしい。このことはデルタの地層中に火山噴出物の二次堆積と思われるものがレンズ状に散在しており、この堆積物と火山活動の関係をさらに調査すれば、火山活動がデルタ形成にどのような影響を与えたかがわかってくるであろう。

Brantas 川デルタの海岸部に白い線が網目状に分布しているが、これは養魚池または塩田である。

6. 火山活動と沖積平野との関係

Brantas 川の水源にある Kelud 火山はしばしば活動する火山で、最近では1911年、1951年および1966年5月26日に爆発がおこっている。この火山活動の特色は、噴火の際、火口湖の水が噴出物に混じてラハールとよばれる泥流となり、広く山腹に堆積することである (Nippon Koei, 1960)。1951年の噴出物は約2億 m^3 といわれ、そのうち約1億 m^3 は風で直接海へ運搬され、残りの約1億 m^3 の $\frac{2}{3}$ 、すなわち約7,000 m^3 が山腹で堆積した。このうち約3,000 m^3 が5年くらいで河川へ流出した。したがって、年平均約600 m^3 が河川へ流出したことになる。この流出物は徐々に河口へ移動したが、河口に達するまでにまた5～6年を要したという。この時の堆積物により、ロドジョとケディリの間では河床が上昇し、天井川化し、しばしば洪水氾濫を起こした (Oya, 1973)。

前述のように Andjasmoro 火山山腹では堆積物がすでに侵蝕され、その部分に火山山麓の湧泉の水も加わってうす黒く写っている。これに対し、侵蝕された物質が扇状地状に堆積した地域あるいは自然堤防は白く写っている。従来空中写真では一度に広範囲を見ることができなかったのが、扇状地、自然堤防等一つずつの地形要素についての研究は行ないやすかったが、広い地域での侵蝕、運搬、堆積の関係を見るには不便であった。しかし、衛星写真では広い地域を一度に見ることができるので、火山噴出物の侵蝕、その侵蝕された物質の堆積で形成された扇状地、河川で運搬された火山噴出物で形成された自然堤防等、流域内における侵蝕・堆積の関係を一度に見ることができ、その関連性を知ることができる。また、これから将来、侵蝕・堆積がどのように変化してゆくかをある程度推定することも可能となる。

IV 結 論

地図、空中写真等の利用に制約の多い東南アジアにおいて、制約のない衛星写真の利用を考

えた。サンプル地域として、雲量0の時撮影され、かつ、火山、平野を含む東部ジャワを選び、ここで地形分類を試みた。その結果、次のことがわかった。

1. 衛星写真判読で地形分類をする場合、近赤外写真（第7バンド）を使用するのが最もよい。この写真では河川、湖沼、海洋等の水体は黒に、湿地はうす黒く、火山山頂部、自然堤防等の乾燥地は白く写り、この色調差により地形分類を行ないうる。

2. 衛星写真判読に地形図、地質図を若干併用することによって、この地域の地形を火口またはカルデラ、大起伏火山、小起伏火山または火山山麓緩斜面、石灰岩台地、第3紀丘陵、台地、沖積平野（自然堤防、後背湿地、デルタ）に分類できた。この場合、地質図はどの付近にどのような種類の岩石があるのか見当がつく概略のものでよい。

3. 火山のカルデラ壁は明瞭であり、その形、大きさ、中央火口丘の有無等を写真より知ることができる。また、大起伏火山は地下水位が低いいため白く、小起伏火山は黒く写っている。侵蝕谷の数、規模も明瞭に判読できるので、これをもとに火山の新旧の推定ができる。

さらに、火山山麓の堆積物が侵蝕されて下流側に堆積していること等、広い地域内で行なわれている侵蝕・堆積の状態を知ることができる。また、このことから、将来侵蝕がおこる地域もある程度推定できる。

4. 石灰岩地形は写真上でもかなり独特のヒダが認められ、分類しやすい。

5. 沖積平野については自然堤防・後背湿地地帯およびデルタ地帯に分類できる。また、後背湿地の成因なども推定できる。

謝 辞

現地調査に多大の便宜を供与された日本工営株式会社 Brantas 川開発関係の方々および衛星写真入手にご尽力いただいた日本航測株式会社高木勲氏に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

Nippon Koei, 1960. *Preliminary Report on the Kali Brantas Overall Project*.

Oya, Masahiko, 1973. "Relationship between Geomorphology of the Alluvial Plain and Inundation," *Asian Profile*, Vol. 1, No. 3, Hong Kong: Asian Research Service.

丸安隆和, 土屋清, 中島巖, 渡辺貫太郎, 1974. 『日本の衛星写真』, 朝倉書店。

田中真吾, 大矢雅彦, 1975. 『フィリッピン, インドネシア, カンボジャ 及び ベトナム (南) の地形分類』, 科学技術庁資源調査所 (未公開)。

細井将右, 1975. 「EROS データセンターと宇宙写真」『地理』20巻8号。