

## アメリカとカナダにおけるリモートセンシングの状況

長尾 真 (京大工学部)

23

(1) Stanford Research Institute, Artificial Intelligence Center  
 画像の処理を非常に高度に行ぼう努力がなされている。特に画像の空間的なつながり、近傍画素の情報から分類を行おう研究が行われている。即ち土地利用の分類の際、隣接小領域が同じ統計的性質を示せばこれを1つの領域にまとめるという方法で異なった領域の境界を定めるという方法である。現在はまだ特定の分野に限らず、アルゴリズムの研究を主としている。

## (2) NASA Ames Research Center

U-2機による高い上空から各種の写真撮影、スキャナーによるデータ収集を行っている。その他にも種々の航空機による写真(スパクトルフィルタ写真、赤外写真等)撮影等を行っている。写真データは大量にほるので既に23万枚を集めている) これらをマイクロフィッシュにも焼付けて、情報検索システムを作り、クイックルックができるようにしている。写真情報の検索は主として緯度、経度と計算機に与えることにより、その点を含む写真のコードをフロント出力してくるので、これによりマイクロフィッシュを調べることになる。AmesはARPA networkにはいっており、Illiac IVが設置されているので、ARPA networkをへてIlliac IVやUCLAの大型機その他を使って画像処理、分類の研究を行っている。特に地図とLANDSAT、U-2等の写真との対応からtraining areaを定め、これをARPA networkにつけてグラフィックタブレットによりオンラインで入力し、種々の分類の実験を行っている。分類のプログラムはイリノイ大学で開発されたものを用い、training areaの望み方によって分類がどのようになるかを種々の地域の種々の対象(農業、鉱業、森林等)について研究している。結果の出力はAmesに設置されているDicomedのフィルムレコーダーで焼付けている。特に分類で工夫するのは時期の異なった2回のデータ(4つのフィルタ写真があるもので8次元ベクトルとする)により分類精度をあげる努力をしている。その他にsensorの研究、人工衛星からの受信信号の帯域圧縮の研究等を行っている。

## (3) ESL Incorporated

リモートセンシング画像の対話型処理を行おうデジタルシステムを作り、販売すると共に、処理の受けおいをしている。システムの特徴はHP3000 ミニコンピュータでマルチジョブのできるソフトウェアシステムを構成し、かなり便利に画像解析ができること、array processorという特殊ハードウェアを作って2次元フーリエ変換その他の画像処理が高速にできること、1/4スポットの超高精度(12ビット濃度)のステジ型フィルムスキャナーをもっていること、500 lines/inchのconventional film drum scannerを開発した事等が特色である。

## (4) IBM San Jose

データベース研究を行っていて、画像のデータベースについても関心をもっている。relational data baseの種々の形態と応用、このdata baseに

対する自然言語に近い言語によるアクセス等の研究がある。また都市の地図の記憶とアクセスの研究も行っている。これは将来の USGS の地図作りの方針と関係して考えると重要である。

##### (5) University of California, Berkeley

College of Natural Resources, Remote Sensing Research Program は多くの機関から依頼をうけて研究を行っている。主として人による写真の解釈が中心で実際に使われる結果を出している。農業、森林、公園その他の分野について解釈、設計等を行っている。Computer processing としては maximum likelihood Classifier の改良したものを CDC 7600/6600 にもっていて、端末装置の control として NOVA がつけられている。interactive processing はタイプライターによる parameter change 等が主である。rolling ball の非常にスムーズなものをもっている地図、写真等の tracking に用いられている。Department of Electrical Engineering and Computer Sciences では color display 装置を 300 frames 記憶できる analogue disk と結合し、ミニコンピュータを用いたシステムをもっている。種々の画像の処理と display の研究を行っているが、リモートセンシング関係では NOAA の IR channel と地球の surface temperature との関係と明らかにする研究をしている。結果はまだ出ていない。また細菌の培養とその結果のチェックを自動的に行う大規模なシステムを作っていて PDP 8 で control されている。結果のチェックは高速に行う必要があるが、コロニーの大きさ等を PDP 11/40 で計測するシステムである。

##### (6) Stanford University, Department of Applied Earth Sciences.

主として minerals の発見を LANDSAT データで行う研究を行っている。ground truth のわかっている地域について LANDSAT データをよく分析し、その手法を他の領域に適用する方法である。特に minerals の存在する地上にはえている植物の形態とそのスペクトル特性をくわしく調べている。フランク・スロイン等からも研究の依頼をうけている。大学の共同利用の PDP/10 に対話型の分析 software STANSORT を作っている。これは比較的単純なものであるが便利に使える。処理した結果は Ames へもって行って Dicomed の film recorder で焼付けるが、ラインプリンタ出力でがまんすることも多い。

##### (7) Jet Propulsion Laboratory, California Inst. of Technology

以前より月、火星、その他の惑星に対する探査船を送り、そこから得られる画像データの処理を長年行ってきた歴史をもつ所で、画像処理に関して最高の内容をもっている。最近 LANDSAT データの解析も行っているが研究部門の外に業務的な内容をもっていて、大量の画像データの処理を行っている。LANDSAT データの解析内容としては §4 に述べたほとんどすべてが処理が行なえる。分類の手法としては density slicing の手法をとり、これで分類できない点に対してのみ maximum likelihood classifier

で分類を行おうようにし処理速度をあげている。結果はこれに満足できまじい。最近 picture data の data base を本格的に行おう研究をはじめている。これは MT データを基本として地図、統計その他と関係づけられている。データの分類・判定のアルゴリズムを含んだもので、user の多様性を要求に答えられるようにすることを目的としている。

SEASAT のセンサー開発も JPL が責任をもっており、研究開発を行なっている。1978年3月に打ち上げる予定である。sensor のほとんどすべては all weather の active microwave 方式で、sea surface temperature water wave height & direction その他を正確に測定するのが目的である。SEASAT の寿命は最低1年、2~3年を期待している。

人工衛星のデータ解析以外には医学画像処理、工業検査等のパターン認識の研究が行われている。染色体の認識はシステムがほぼ完成して通常の分類で7分、バンドンク分析で15分くらい必要とある。これは中間段階をディスプレイで人間がチェックする過程を含む interactive system である。血管の abnormality を自動的に検出するすぐれた方法も開発した。やけどの診断にマルチスロウト写真をとって疑似カラー表示をする方法ですぐれた結果を得ている。これからは cell analysis, environmental medicine 等の分野の研究を行おうという。

#### (8) UCLA Computer Science Department

画像の処理とグラフィックディスプレイの中間に位置する研究を行なっている。人の顔の線図形に関する特徴を自然言語で specify し display を control する man-machine system で、自然言語的対話が中心であるが、モニター上写真のことも考えている。このような図形を人に見せた時に脳波がどのような反応をするか、人の顔がらかった時に波形が区別できるか、特に思いあたる人の顔の場合の波形はどのようなにちがうか等を実験的に研究している。Laboratory of Nuclear Medicine & Radiation Biology では emission tomography, transmission tomography のすぐれた研究を行なっている。これは多方向の1次元波形から2次元画像を再現するもので、これを人体の種々の部分に対して行なうと、人体の3次元構造を復元し病巣等を知るのが目的である。

#### (9) University of Southern California, Image Processing Institute.

ARPA から支持をうけて Image Understanding System と称して画像処理の研究を行なっている。これまでは Image coding, Image restoration の研究を長年行なってきたが現在は interframe correlation を利用して約 1/30 程度まで画像データの帯域圧縮が可能になるといふ。リモートセンシング画像については LANDSAT データの ratioing + logarithmic enhancement が良い結果を与えること、principal component analysis を行なうと情報は2枚の写真に集中され、他はほとんどランダムノイズとなること等の結果を出している。また texture analysis による boundary detection, Line detection 等の研究もある。画像処理のシステムとしては数年前から

もっている HP 2300 (ミニコン) を中心とする Color TV による対話型画像処理システムを用いているが、近く PDP 11/45 のシステムにかえて Computer Science Department の PDP-10 に on-line 結合をする計画という。FSS によるホラロイドへの焼付けのほかに最近 optonics の stage 型 scanner/recorder (1/4 spot) を導入した。ARPA network を用いた画像処理研究については試みとしてはあるが、データ伝送がおそくて結局あまり使われていない。

(10) University of California, Irvine

医学画像の処理にむいた成果をあげている。肺の X 線写真からの病巣の抽出、乳がんの検出その他の研究が中心で、HP 2300 システムの他に最近 Interdata 7/32 (96 KB) を導入し、これを中心に画像処理を行おうようにシステムを変更しつつある。

(11) Colorado State University & Denver Mineral Exploration Corp.

鉱物、特に銅、亜鉛、金、モリブデン、ウラン、タングステンおよび石油、天然ガス等の発見を航空写真の解析から行おう仕事をしている。これまでに数多くの成果をあげて来ている。過去の鉱山発掘の地域分布と地質学、鉱物学の知識を十分に用いて可能性のある地域を調べ、その地域の航空写真を精密にアナログ解析システムで解析することにより、鉱物、石油その他の存在の可能性を判断する。画像処理装置を利用した高度の写真判読を行っている。

(12) United States Geological Survey (USGS) EROS Data Center

EROS データセンターの役割については 2.3 に述べた。現在約 500 万枚の写真を保管しており、年間に 300 万枚をコピーして配布するという大規模な業務を行っている。このセンターには GE の Image 100 と ISI 1700 (アナログ解析機)、および LARS の端末装置があり、センター内での研究、教育に用いると共に外部からの使用者に有料で開放している。写真、CCT 等の情報検索、画像の前処理、写真のエンハンスメント、分類、地図へのマッピング等を行おうために Burrough 6700 (4~5 MB のアドレススロース、90 MB ディスク X 10 台) を中心として HP 3000 による対話型処理、UNIVAC 9030 による CCT コピー等のシステムを整備しつつある。

(13) University of Illinois, Center for Advanced Computation (CAC)

Ames Research Center にある Illiac IV の画像処理のソフトウェアを作るのがこれまでの仕事であったが、最近では LANDSAT のデータ処理を Illiac IV を含めた ARPA network でいかに経済的に出来るかという実際研究を行っている。データは大量なので磁気テープの形で輸送する方式とし画像の前処理、UTM mapping 等は UCLA の IBM 360/191 を用い、その後分類は Illiac IV を用いる方式とした。その結果分類に関しては 2 クラスに分類するために Illiac IV で約 4 分、LARS の IBM 360/37 で 1000 分かかる。LANDSAT データ

をこのようにしてUCLA, Illiac IVで最終結果を得るために1フレームあたり300ドット程度とほることがわかったという。CACの外にCivil Engineering, Department of Geologyでも研究を盛めており、地図へmappingする時の歪の修正の方式、地質学的解釈・分類の研究を行っている。

(4) University of Missouri, Department of Electrical Engineering  
 主として医学写真の計算機による解析を行なっているものであるが、その技術を航空写真の解析に応用する研究を開始した。彼等のもつ特徴は画像のtexture解析にすぐれた方式をもっていることであって、航空写真の解析に應用してどこまで良い結果が出るかはこれからである。

(5) Purdue University, Laboratory for Application of Remote Sensing (LARS)

LARSは比較的長い歴史をもつが、maximum likelihood methodによる supervised classification のプログラムを作り、IBM 360/57の約4坪の remote terminal からこれでもこれを使えるようにしたことが評価される。その他に clustering のプログラム、homogeneity の検出による領域わけ、種々の前処理の手法を研究開発している。目的は土地利用に関する分類にある。種々の機関からの依頼による業務としての仕事が多いようである。

Department of Electrical EngineeringでもLARSと協力する形で種々の研究を行なってきた。例えば微分その他の方法で境界を検出しそれから分類を行なうなどがある。最近ではAdvanced automationの研究、target detectionの研究などの方向に進んでいる。

(6) Environmental Research Institute of Michigan (ERIM)

古くから有名どころである。種々の contract による研究がほとんどで、多くは見学できなかつた。スキャーについては、これまでにハッパフのものも何種類も開発して来たが、現在はマイクロウェーブ、レーザー等によるものを研究している様子である。リモートセンシング画像の処理としてはMIDASという特殊ハードウェアをもっていて、これは高速のパイプライン前処理と分類装置とからなっている。前処理装置は点毎の radiometric correction や次元を減少するための linear transformation, channel 間の ratioing 等が高速に出来、分類装置は最大16チャンネルまでのデータについて maximum likelihood method を用いて9又は17クラスに分類できる。このような特殊 hardware を採用しても経済的に成り立つことを示したという。主として農産物の分類を中心にした仕事をしている。

(7) NASA Goddard Space Flight Center, Information Extraction, Earth Survey Divisions

NASAの Goddard Space Flight Centerは膨大な組織をもっている。その中で今回の目的にそって画像データの処理部門を中心に訪ねた。画像処理はPDP11/45を中心とした対話処理システムを構成して mineral resources, land use,

forestry 等の問題を扱っている。特に spectre band 向の演算を中心に考えていて、将来の LANDSAT-D その他の人工衛星搭載のスクャナーとしてどのようなスペクトルバンドをいくつ用意するのが効果的であるかということも考えている。LANDSAT 1, 2 では地上との向での情報伝送は 20 Mbits/sec であるが、LANDSAT-D ではスクャナーをおそらく 6, 7 バンドとし、その他にも thermal band その他も搭載するので 120 Mbits/sec という膨大なデータとなり、従って帯域圧縮の研究としてはむしろ面白いという。また LANDSAT, SEASAT 等が地球のどこにも real time で受信が可能であることが要求されるので静止衛星を経由して受信する relay system も考えている。

LANDSAT の受信データの処理部門も見厚し。各種の HDDT 変換装置、electron beam recorder, フィルム処理装置がある。EROS データセンターと同様なフィルム情報検索システムをもっている。LANDSAT のこれまでの受信データは受信された元の形のテープを保管して、その他の HDDT, CCT 等は永久保管の対象とはしていない。

#### (18) National Bureau of Standard

情報処理、画像処理の部門があり、リモートセンシング画像を含んで種々の画像の処理を行っている。この特色は ARPA network につながっている NIH の PDP-10 の LISP に画像処理用の各種サブルーチンを付け LISP によって画像処理が出来るようにして、複雑な構造の画像解析、認識とできるようにしていることである。

#### (19) IBM Federal System Division, Gaithersburg

Federal Government の各種の仕事をしているが、画像処理では NASA を中心としてその他種々の機関との関係で仕事をしている。LANDSAT の画像処理では画像の前処理を中心に仕事をしている。特に ground control station との対応を正確にとるために 5 次の多項式で画像の変換をしている。正確な地点対応をとるのに 2次元 FFT (特殊高速ハードウェア ASP) 装置で行おうことができるようになり高速になったという。このような正確な地図への変換を行おうことによりほぼ 0.1 spot size までの正確さが得られている。その結果多数の写真を地域的に大きくつなぎ合わせるモザイクが非常に正確にできるようになった。この仕事は非常に膨大で約 10人×2.5年を要している。ハードウェアとしては大型計算機のほかにレーザーロームによるカラー写真の焼付け装置があり、50 cm 以上の大きい画像をうることができる。

#### (20) University of Maryland, Picture Processing Laboratory

画像処理アルゴリズムの開発について活発な仕事をしている所である。今まで一般の画像を対象としていたが、最近リモートセンシング画像の解析も行っている。その中の一つは写真から地質学構造線を抽出しようというもので、比較的短い直線部分をパターンマッチングの手法で抽出した後、これをより長くまとめてゆけるかどうかをテストする。他は texture 解析の手法を land use map の作成

分類に適用しようというもので、フーリエ変換による Texture 抽出と heuristic の spatial domain での処理による texture 抽出の比較研究を行なっている。

(21) MIT, Artificial Intelligence Project,  
Research Laboratory of Electronics

画像処理に関しては種々の技術をもっている。特に3次元物体認識、医学写真の解析、画像の帯域圧縮と伝送処理の研究等がある。しかし現社のところリモートセンシング画像の処理は行っていない。

(22) Canada Center for Remote Sensing (CCRS)

CCRS はカナダの ground station で受信する LANDSAT データの処理を行なうことを主とした機関で NASA Goddard Space <sup>Flight</sup> Center のデータ処理システムとほぼ同様のものをもっている。デジタル処理関係のシステムとしては、LANDSAT の HDDT 変換システム 2 セット、airborn scanner recorder の CCT との変換システム 1 セット、70mm フィルムのための electron beam recorder 2 セット、12 インチ カラー フィルム 焼付けのためのレーザビームレコーダ 1 台、画像処理研究のための PDP-10 3 台という最新のシステムをもっている。この外に画像処理研究用に GE Image 100 をもち、これをマルチプログラムで動くように改良している。近く hardware FFT, parallel processor を付加する予定という。写真処理は KODAK のあらゆる種類のシステムを設置して 24 時間運転をしている。

PDP-10 を用いたリモートセンシング写真の情報検索システム、リモートセンシング関係の文献検索、マイクロファッシュ検索システム等がある。研究面では境界線を抽出して領域分類する方法、面情報を用いた分類等種々のアルゴリズム開発・研究を行なっている。科学技術庁より CCRS に来ておられる鈴木氏は St. Johns river の洪水について海流、氷、気温等地球規模のモデルから局地モデルをくみだしてゆくべく、これに研究を行なっており、リモートセンシングデータの典型的な応用例として認められている。

CCRS はカナダの各州のもっているリモートセンシングセンターや民間とよく協力し、すぐれた組織を構成している。

(23) Forest Management Institute

農林省のもとにあるこの研究所はカナダの森林資源についてあらゆる角度から研究を行なっている。リモートセンシングは必ずかくべからざるもので写真とこれまで用いて来たが、これからデジタル処理も行なう予定という。ミニコンピュータを導入し、周辺装置をこれから整備しようという段階である。

(24) National Research Council, Radio and Electrical Engineering Division

一般的にパターン認識の研究を行なっている。特に人間の認識プロセスとの関係を中心に考えている。

## (25) NASA Houston

NASA Houston は IBM Houston の援助のもとに大規模な LANDSAT データ解析を行っている。その中でも最近はじめに LACIE 計画は注目に値する。これは LANDSAT データと気象データとから小麦の収穫を予想しようとするもので、1974, 5年 は米国全体についての手法を確立し (Phase I), 次にいくつかの国について行ない、次の段階としては全世界について、各月ごとに予想を出す operational system にしようというものである。予想の精度は全世界について 90% を目指している。処理すべきデータの量の膨大なことと、その結果のもつ社会的意味は大きい。IBM Houston は ERIPS と称する対話型画像処理システムを作り、いくつかの国へ配布した。

## (26) University Kansas

この大学のリモートセンシング研究は比較的古く、デジタルシステムも独自のすぐれたものを開発して使用している。特に農業に関する分類に力を入れている。使用している手法はいろいろあるが、特に texture 解析のすぐれたプログラムを開発したことは高く評価されている。

(27) 10<sup>th</sup> International Symposium on Remote Sensing of Environment  
October 6-10, 1975, Ann Arbor Michigan

この会議はリモートセンシングに関する代表的な会議の1つで、1962年に才1回を米国のみで開催してから、才10回の現在では40%の論文、30%の参加者が米国以外からであるという国際学会となっている。今回は参加者約500名、発表論文174にのぼった。日本からは発表9件、参加者は約20名であった。この会議の特色としていくつかあげることが出来る。

- (a) 非常に広い範囲の応用分野からの研究発表があった。
  - (b) 米国内国として各省が今後どのようにリモートセンシングを進めてゆく計画であるかの発表がいくつかあった。
  - (c) 世界各国の代表からそれぞれこの国でどのようにリモートセンシングを進めているか、今後の計画等について発表があった。(フィンランド、フランス、ドイツ、イタリア、オランダ、スペイン、スウェーデン、スイス、アイスランド、インド、バンラデシュ)
  - (d) リモートセンシングに関して生じる国際的諸問題について種々の指摘があった。
  - (e) いくつかの問題については業務として実用の段階にはいりつつある。(その努力をしている)分野があること。
  - (f) 全天候観測が可能で、データが長時間で得られ、必要とする者になるべく早くデータがわたせるようなセンサー、システム等の開発が強調された。
  - (g) このシンポジウムはこれまで ERIM が中心となって開いて来たが、これから真に国際的な組織が行なうべきであるとして、国際リモートセンシング学会設立の可能性について議論があった。
- 今回は 1977年 4月 3-ロッハのどこかで開くことが決定された。

(28) ASP-ACSM Fall Conventions, October 26-31, Phoenix  
(ASP: The American Society of Photogrammetry, ACSM: American Congress on Surveying and Mapping)

この合同会議は写真工学, 写真測量, その応用としてのリモートセンシングの諸問題を取りあげて研究発表を行なう場である。発表論文は150, 参加者約600名の会議で, アメリカ以外の国からの参加はわずかであった。日本からは発表1件, 参加者約5名であった。この会議の特色は次のようなところにあった。

- (a) 写真工学的なリモートセンシング画像の処理と解釈, 幅広い応用分野特に土地利用,
- (b) これからの地図は超高空からの写真そのものが地図の役目をはたすことにはおぼろうことがUSGSの人たちからはっきりと発言された。
- (c) 地図作りが計算機と基礎盤に行なわれること, 等高線, 道路, 土地利用等の1つの地図は数枚以上のカテゴリー別の地図の重ねりとして取り扱われること
- (d) 写真そのものの物理的性質とその改良
- (e) 写真機レンズ等による歪とその修正

(29) 3rd Canadian Symposium on Remote Sensing,  
September 22-24, Edmonton

この会議はカナダリモートセンシング学会が毎年行っているもので, 今年はアルバータ州リモートセンシングセンターが世話をして会議を開いた。参加者は約300名で国外からはアメリカの外はほとんどはかった。この会議はカナダという国のもっている特色をよく反映したものとされていた。

- (a) リモートセンシングの将来をNASAの方針との関係で論じ, 広く国際的協力を強調する基調の論文が多かった。
- (b) 沿海の氷の状態, その移動状況, 極地の氷, 氷の条件等を監視するシステムに関する研究が多く, その監視を業務として行なうことの重要性が強調された。
- (c) 資源問題, 特に森林, オイルサンドの分布と産出量に関する研究が多かった。
- (d) 水資源, 湖水の水位, 雪, 氷の厚さ, 量等の推定から淡水の予想まで種々のものがあつた。
- (e) 水力資源, 石油等をほくためのルート設定, 道路計画に対するリモートセンシング写真の利用と地域環境に対する影響等のアセスメント
- (f) 農業収穫問題
- (g) カナダはリモートセンシング技術を大部分アメリカに依存し, 自国特有の問題解決に応用するという態度が強いように感じられた。

(30) NSF Workshop on Advanced Automation,  
October 22-24 Purdue University

直接リモートセンシングに関係ないが画像処理, 人工知能研究等のアメリカの

代表的な人達が集って議論する機会に、主催者の Prof. K. S. Fu からぜひ参加するよう要請があったので参加した。医学画像の処理、オートメーションにおける画像処理などの技術はリモートセンシングの画像処理にも使える可能性がある。

以上の外に出席はしなかったが、リモートセンシングに関する会議としては最近次のようなものがあった。

- Symposium on Machine Processing of Remote Sensed Data, June 3-5, Purdue University   これは LARS 主催しているもので、リモートセンシング画像の処理方法に焦点を当てた会議で、我々にとっては Michigan の Conference よりは興味のあるものである。前回は 1976 年 6A29B — 7A1/B 同じく Purdue 大学で開催される。
- The 1<sup>st</sup> Annual William T. Pecora Memorial Symposium, October 28-31, Sioux Falls. この会議は LANDSAT データによって得られた鉱物資源、石油資源、木材、食糧資源に関する研究発表の場で、アメリカ、フランス、メキシコ、南アメリカ、ソ連その他から発表があったという。この会議を最も特色をつける例としてパキスタンの銅鉱山の探査を LANDSAT のデータで行ない 20 の可能性のある地点を決定、そのうち 5 つまでがほんとうに有望な銅産出地であったという。
- EASCON 75, Forum for a Government Industry Interchange Sept. 29 - Oct. 1 Washington D.C. この Forum は政府と民間との間の関係をスムーズにするためのものでリモートセンシングについての政府の将来方針とその技術問題について論じられたという。