衛星画像処理システムの開発

著者	中根 和郎
雑誌名	国立防災科学技術センター研究速報
号	91
ページ	3-18
発行年	1990-03-30
URL	http://id.nii.ac.jp/1625/00002829/

681.3.02

衛星画像処理システムの開発

中根和郎

国立防災科学技術センター

Image Processing System for Satellite Data using the Dataflow Computer

By

Kazurou Nakane

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

Our institute had set up the Dataflow Computer in 1988 to make the actualization of high-speed processing for the numerical simulation of natural disaster and the analysis of the satellite image data. The computer has 8 operation modules and dataflow architecture. In this paper, major four developed functions working on the Dataflow Computer (NEDIPS-10) and the host computer (ACOS-830) are descrived. The functions are high-speed I/O processing of the image data, the geometrical correction of the satellite image, the grey levels matching of two satellite images taken at the different time and the classification of the satellite image using the spectral properties at some supervisory areas. These functions have some characteristics as follows.

(1) The I/O processing function for the satellite image data has the high-speed disk I/O program. The function could make the host computer independently conduct I/O process of the satellite image data and some processing jobs at a same time. This function could shorten the time of inputting and displaying the satellite image, which data volume is about 4.2 M Bytes, using only 136 K Bytes memories of the host computer. The time becomes 5 seconds.

(2) The function of the geometrical correction has the High-Speed Affine Conversion Program which is programed by Dataflow Assembler Language working on the Dataflow Computer. This function could do the Affine Conversion of the satellite image, which data volume is 4.2 M Bytes, very fast. The processing time becomes 6 seconds.

(3) The grey levels matching function has the high-speed program of the grey levels conversion being programed by Dataflow Assembler Language also working on the Dataflow Computer. This function could shorten the time of grey levels conversion for matching the grey levels of the satellite image which data volume is 4.2M Bytes. The time becomes 1 second.

(4) The function for classifying the satellite image using the spectral properties at the supervisory areas has special sampling program. The

program could pick up the data of the pixel image in the arbitrary classfying area using the small memory of the host computer.

Key words: Satellite data, Image processing system, Dataflow computer, Geometric transformation, Image classification.
キーワード: 衛星データ，画像処理システム，データフロー計算機，幾何学的変換，画像分類

1. はじめに

わが国において初の海洋観測衛星MOS−1が1987年に打ち上げられ，観測データの検証実験（NASDA，1989）により，海面温度，海氷分布や地表の植生，積雪分布等の広域観測の有効性が実証された．この検証実験を経てMOS−1データは各分野で有効に活用されるに至った．また，一方において，熱帯林の減少，砂漠化等の地球環境の悪化が自然災害に大きな影響を与え始めていることが指摘されるようになり，防災地球科学技術の研究においても，広域の海域，陸域の状況を短期間に収集できる衛星データの利用が不可欠なものとなってきた．それに伴い国立防災科学技術センターにおいても，より広範囲の衛星画像の高速処理システムの開発が益々重要となった．当センターではリモートセンシング画像処理及び災害現象の動的シミュレーションの高速化のため，昭和62年度末に演算器8個を有し，並列演算の可能なデータフロー計算機NEDIPS−10を導入して，各種防災地球科学技術への応用研究を行ってきた．

ここではこの一環として開発した衛星画像処理システムについて述べる．本システムはデータフロー計算機NEDIPS−10とホスト計算機ACOS−830を接続し，ACOS−830の端末PC−9801から必要な情報を入力し，マンマシン応答による高速画像処理を行うものである．このシステムを動かす基本ソフトとして，高速DISK−I/Oプログラム，画像表示ライブラリ，データフローアセンブラによる衛星画像の幾何学的補正，濃度補正等のプログラムを開発すると共に，それらを組み合わせたマンマシン画像処理のための衛星画像入出力，幾何学的補正，2時期の画像の濃度整合，画像分類等のプログラムをFORTRANで開発し，マンマシン応答による高速画像処理を実現させた．その結果，1024×1024画素（1画素4チャンネル×8ビット）の画像データを約5秒で入出力し，濃度補正及び幾何学的補正をそれぞれ約1秒及び6秒の速さで処理できるようになった．

2. 衛星画像処理システムの機能と構成

本画像処理システムは図1に示すように汎用ホスト計算機ACOS−830（以下ACOSと略称），その端末PC9801（以下端末と略称）とデータフロー計算機NEDIPS−10（以下NEDIPSと略称）により構成されている．また，それらを動かすソフトウェアは表1に示すような画像処理メ

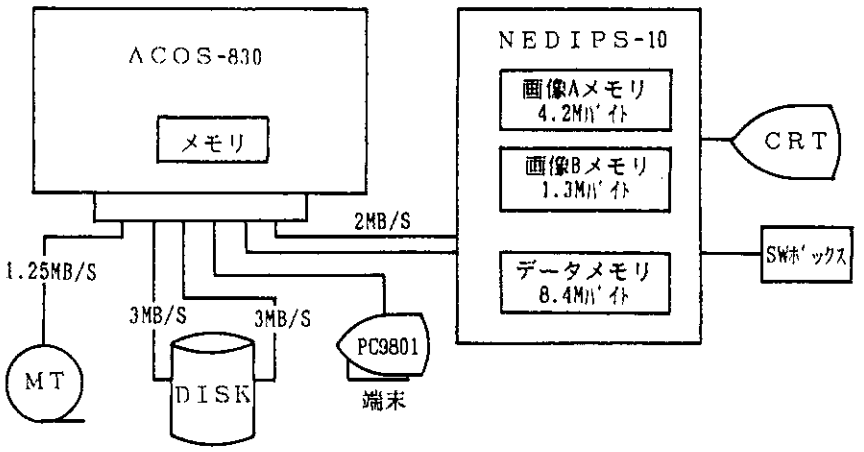


図1　NEDIPS-10及びACOS-830を用いた衛星画像処理システム
Fig. 1　Outline of the Image Processing System

表1 開発した主なソフトウェア
Table 1 Major developed software for the image processing

1.画像処理メインプログラム（FORTRAN）
・衛星画像の入出力
・幾何学的補正
・２時期の画像の濃度整合
・画像分類
2.ACOS-830用高速DISK-I/Oプログラム
3.NEDIPS-10の画像表示ライブラリ
4.濃度補正データフローアセンブラプログラム
5.アフィン変換データフローアセンブラプログラム

インプログラム，高速DISK-I/Oプログラム(以下高速I/Oと略称)，画像表示ライブラリ(以下画像ライブラリと略称)，濃度補正及びアフィン変換用のデータフローアセンブラプログラム（以下テンプレートと略称）等により構成されており，これまでに開発した主な機能は図2の通りである．以下にそれぞれの機能の概略を述べる．

① 衛星画像の入出力：衛星画像データを磁気テープからACOSに読み込み，その内の任意の領域の画像データをNEDIPSのカラーCRTに表示すると同時に画像を見やすくする

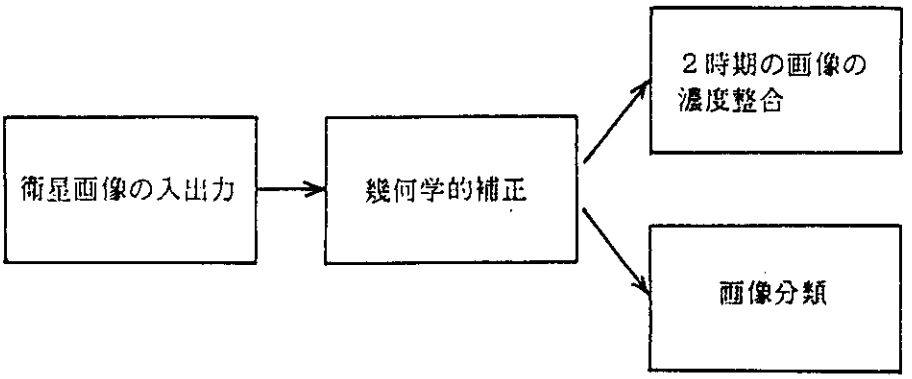


図2　開発した画像処理機能
Fig. 2　Developed functions of the image processings

ための濃度補正を行う.

② 幾何学的補正：衛星画像データには幾何学的歪みが有り，これを補正して地図情報と重ね合わせてできるようにする.

③ 2時期の画像の濃度整合：画像全体の濃度が異なる2時期の衛星画像を比較し，特定した地域の経年変化を両画像から抽出するために一方の画像の濃度を補正し，両画像の濃度の整合を行う.

④ 画像分類：カラーCRT上の画像の中から分類のための任意の標本区域を数カ所指定し，それらの区域と同じスペクトル特性を持つ地域をレベルスライス法，セル法，最尤法によって抽出する.

これらの機能は既に述べたように高速I/Oプログラムとテンプレートを用いて画像処理の高速化を図っており，従来のシステム（植原・幾志ほか，1985）と比較して数10倍の処理速度となっている．以下に個々の機能について述べる.

2.1　衛星画像の入出力機能

衛星画像の入出力は図3に示すように次の処理を行う.

先ず，磁気テープの衛星画像データ（CCT: Computer Compatible Tape）をACOSに読み込み，それ以後の画像処理を高速に行うため，ビット操作により，1語内に1画素分（8ビット×4チャンネル）の画像データをフォーマット変換して入れる．次に，高速I/Oにより，フォーマット変換した1ライン分の画像データを順次DISK1に転送する．その後，再び高速I/OによりDISK1から1ライン毎に画像データをACOSに読み込み，端末から入力した切り出し定数にしたがって，必要な1ライン分（1024画素）の画像データを切り出し，それを高速I/Oにより順次DISK2に転送する．最後に，高速I/Oと画像ライブラリーによりDISK2

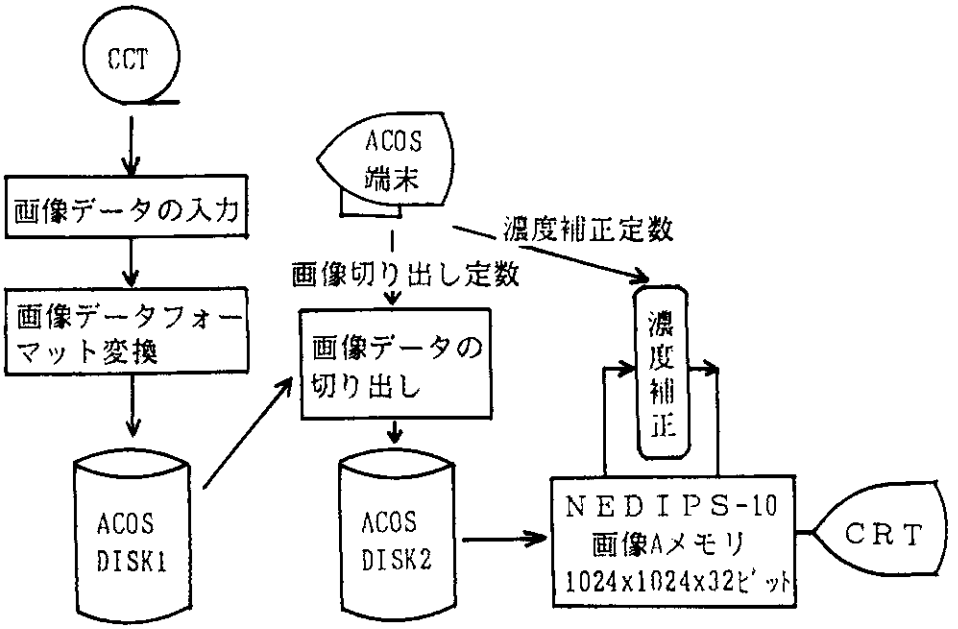


図3　衛星画像の入出力フロー
Fig. 3　Flow diagram of the I/O processing for the satellite image data

内の画像データを16ライン毎にACOSへ入力すると同時に，CRTが直結されているNEDIPSの画像Aメモリ（以下Aメモリと略称）へ並列転送する．しかる後，CRTの画像を見やすくするため，端末から入力した濃度補正定数にしたがって，Aメモリ上の1024×1024画素×4チャンネル分の画像データをNEDIPSのテンプレートを用いて濃度補正する．この変換に要する時間は約1秒である．

ここで開発した衛星画像の入出力機能は3つの特徴を有する．その1つは高速I/Oを用いていることである．衛星画像のデータ量はMOS-1/MESSRの1シーンで20.2Mバイト，ランドサット/TMの1シーンで293.1Mバイト，ランドサット/MSSの1シーンで42.9Mバイトと膨大であり，マルチジョブを行っているACOSをホスト計算機としてこの膨大な画像データの処理を行うには，1ジョブに割り当てられたACOSのメモリの許容範囲内で画像データを分割して高速入力し，必要な処理を行った後，その結果を順次ACOSのDISK及びAメモリに高速転送する必要があった．この処理を高速I/Oが可能にした．この高速I/OはACOSメモリに確保されたダブルバッファを交互に用いる並列転送機能を有しており，画像ライブラリと組み合わせることによりDISKからACOSメモリへの画像データの入力とACOSメモリからAメモリへのデータ転送を並列に実行することができる．これにより，1024×1024画素×4チャンネル分の画像データの入出力時間を約5秒に短縮することができた．第2の特徴はテンプレートを用いた濃度補正である．原画像は通常濃度が低く，CRT上では見にくく

なっている．このため，画像の濃度を見やすいように補正する必要があるが，FORTRANによる従来の方式では512×512画素×４チャンネル分の濃度補正に10〜20分を要していた．そこで，テンプレートを用いて，NEDIPSにより濃度補正を行い，処理の高速化を図った．これにより1024×1024画素×４チャンネル分の濃度補正時間は約１秒となった．第３の特徴は1024×1024画素の画像データを一度に表示できるＡメモリ直結のNEDIPSのCRTにある．従来システムの出力画素数は512×512であり，本システムにより一度に解析できる画像範囲を４倍に拡張することができた．

2.2　幾何学的補正機能

衛星データの原画像は多くの場合幾何学的歪みを含んでいるため，衛星画像データと地形図の重ね合わせを行ったり，画像データの正確な位置を知るためには画像の幾何学的補正が必要となる．そこで本機能により，画像上の基準点（以下GCPと略称する：Ground Control Point）群の位置とそれらに対応した地形図上のGCP群の位置が重なるように画像を幾何学的に補正する．具体的には図４に示すように次の処理を行う．

先ず，ACOSのDISK１から原画像を高速I/Oで入力し，端末から入力した切り出し定数にしたがって，必要な画像データを切り出す．その結果を画像ライブラリによりNEDIPSのデータメモリ及びＡメモリへ転送する．データメモリへ転送する原画像は幾何学的補正後の画像が少なくとも1024×1024画素得られるように1408×1408画素とする．ＡメモリへはNEDIPSのCRTから画像上のGCP群が読み取れるように1024×1024画素の画像データを転送し，端末から入力した濃度補正定数にしたがって濃度補正する．次に，CRTから画像上におけるGCP位置をカーソルにより入力すると共に，それらに対応する地形図上のGCPの位置を端末から入力し，GCPの画像上の位置と地形図上の位置の相関関係から幾何学的補正のためのアフィン変換係数を求める．その後，アフィン変換用テンプレートを用いてデータメモリ内の原画像データをアフィン変換し，その結果をバイリニア法，ニアレストネイバ法，キュービックコンボリュウション法等のリサンプリング手法（リモートセンシング技術センター，1980），により，格子状に並べ変えて1024×1024画素×４チャンネル分の幾何学的補正した画像をＡメモリに出力する．最後に，画像ライブラリ及び高速I/Oにより，Ａメモリ内の画像データをNEDIPSからACOSへ転送すると同時に，ACOSからDISK２に並列転送する．その後，幾何学的補正した画像を見やすくするため，Ａメモリ内の画像データを濃度補正する．

この幾何学的補正機能は２つの特徴を有する．１つは2.1で述べたと同様に高速I/Oによるデータの高速入出力及びテンプレートによる濃度補正である．他の１つはテンプレートを用いた高速のアフィン変換である．この機能の開発により，従来システムにおいて512×512画素×４チャンネル分のアフィン変換に約20分を要していたものが，1024×1024画素×４チャンネル分のアフィン変換を約６秒で行うようになった．

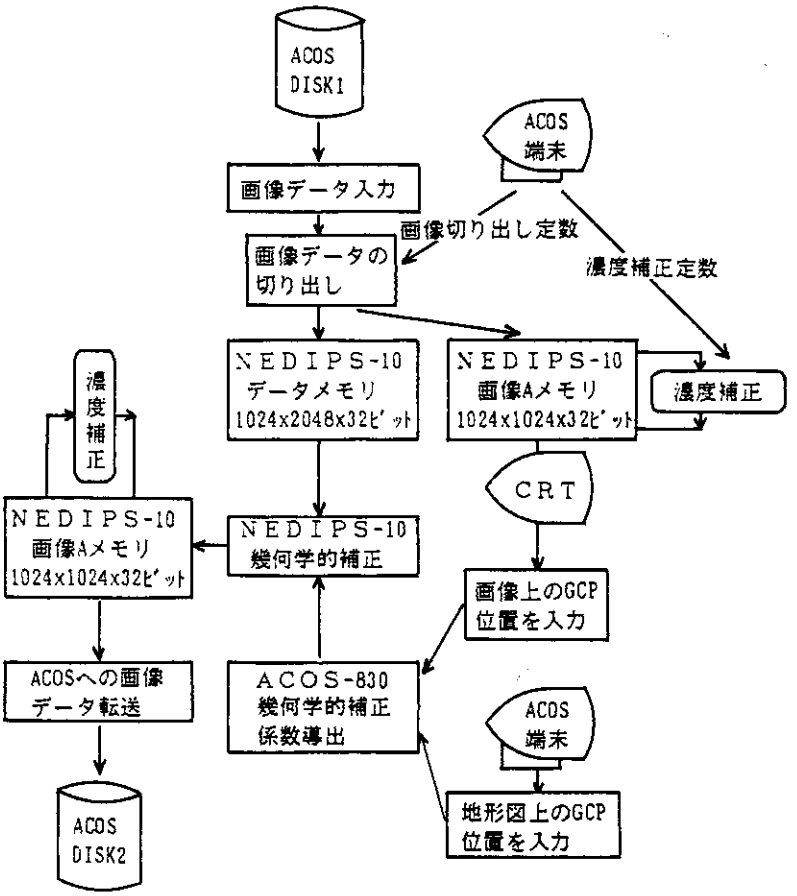
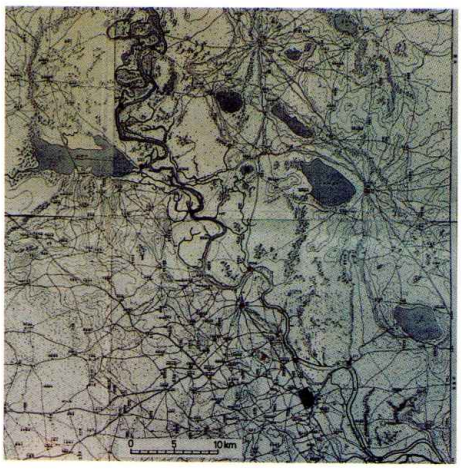


図4　幾何学的補正フロー
Fig. 4　Flow diagram of geometrical correction

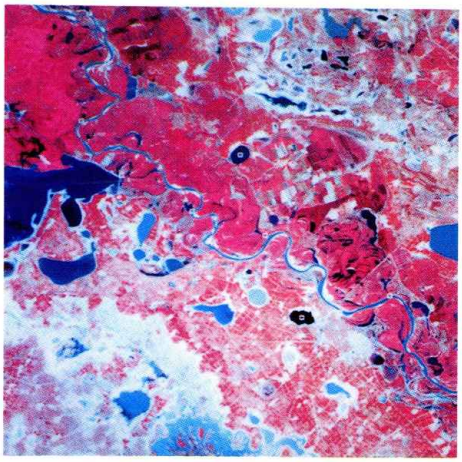
（応用例）

この事例は中国北東部吉林省と黒竜江省の境を流れるネン川の1988年７月洪水の氾濫解析例である．この地域は幸いなことに旧陸軍陸地測量部が昭和８年に製版した10万分の１の地形図がある．これと衛星画像を重ね合わせることにより，地形と氾濫区域が対比できるばかりでなく，昭和８年以降の河川改修の状況も推定することができる．このように衛星画像を氾濫解析に有効活用するためにはそれと地形図との重ね合わせが重要となる．写真１(2)はMOS-1/MESSR（Marine Observation Satellite-1/Multispectral Electronic Self Scanning Radio-meter）の原衛星画像であり，写真１(1)は陸地測量部が作成した同地域の10万分の１地形図である．写真１(1)の地形図と写真１(2)の画像を重ね合わせるには両方に共通のGCPを数地点選び，それぞれのGCPの座標値から幾何学的補正のためのアフィン変換係数を求める．この変換係数を用いて写真１(2)の原画像をアフィン変換する．その結果を写真１(3)に示している．



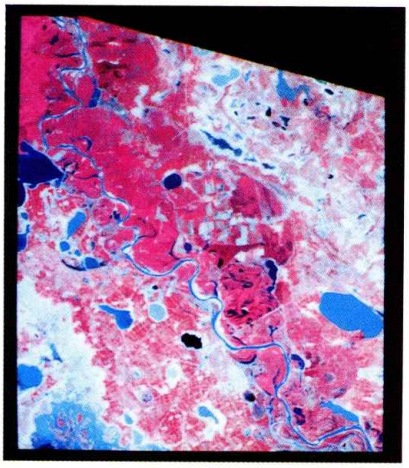
(1)　大賚（タァライ）地区の10万分の１地形図（旧陸軍陸地測量部，1933）

(1)　The topographical map of the Tharai district along the Nen River bordering Jilin Province and Heilongjiang Province in China, which was made by the land survey department of the ex-army in 1933.



(2)　幾何学的補正前の原衛星画像，黒竜江省と吉林省の境を流れるネン川沿いの氾濫前の衛星画像（MOS-1/MESSR，Aug.2，1987撮影），写真内の□印はGCP

(2)　Original satellite image before flooding along the Nen River bordering Jilin Province and Heilongjiang Province in China, taken by MOS-1/MESSR at Aug. 2th, 1987



(3)　写真１(1)の地形図と写真１(2)の衛星画像を幾何学的補正により整合させた画像

(3)　The satellite image after the Affine Conversion of the image show Photo. 1(2)

写真１　衛星画像の幾何学的補正結果

Photo. 1　Result of the Affine Conversion

2.3　2時期の画像の濃度整合機能

衛星画像データのCCTカウント値は撮影時の太陽高度，大気状態によって変化するため，同一時期，同一場所の画像データであっても撮影時刻が異なれば，画像の濃度が大きく異なる場合がある．このことは同一場所の地表状態の変化を経年的に調べようとする場合の大きな障害となる．これを補うためには本機能のような2時期の画像の濃度整合が必要であり，ここでは選択回帰法（リモートセンシング技術センター，1980）による濃度整合を用いている．2時期の画像の濃度整合機能は図5に示すように次の処理を行う．

予め，位置合わせをした2時期の衛星画像データ（以下目的画像，説明画像という）をACOSのDISK2，DISK3に転送しておく．次に，DISK3に転送した説明画像を高速I/OによりACOSメモリに入力し，それを画像ライブラリによりデータメモリに転送する．その後，データメモリ内の画像データを濃度補正してAメモリに出力する．次に，目的画像と説明画像において，地表状態の経年変化及び季節変化が少ないと思われる区域をCRT上の説明画像の中から数カ所抽出し，それぞれの区域の境界をカーソルにより入力する．その後，高速I/O及び画像ライブラリにより，データメモリ内の説明画像及びDISK2内の目的画像を16ライン毎にACOSメモリに入力し，抽出した領域のスペクトル特性値（平均値，分散など）を計算し，選択回帰法により2時期の画像の濃度整合のための線形回帰係数を求める．最後に，この回帰係数をNEDIPSに転送し，テンプレートを用いてデータメモリ内の画像データを濃度変換する．その結果をAメモリへ転送すると共に，画像ライブラリ及び高速I/OによりDISK3に並列転送する．その後，Aメモリ内の画像データを濃度補正する．

ここで開発した2時期の画像の濃度整合機能は2つの特徴を有する．1つは2.1で述べたと同様に高速I/O及びテンプレートを用いた濃度補正であり，他の1つはテンプレートを用いた濃度変換である．この機能の開発により，従来システムにおいて512×512画素×4チャンネル分の濃度変換に約20分を要していたものが，1024×1024画素×4チャンネル分の濃度変換を約1秒で行うようになった．

（応用例）

この事例も2.2と同様ネン川の洪水氾濫解析例である．氾濫前後の衛星画像から流域内の植生の変化を求めるには2時期の画像の濃度整合が必要である．写真2(1)，2(2)は位置合わせを行った氾濫前後の衛星画像である．ここでは写真2(1)の氾濫前の画像を基準にして氾濫後の画像の濃度整合を行う．先ず，氾濫前後の画像の中で時期的な変化が少ないと思われる5つの湖を標本区域とし，それらの区域のマルチスペクトル特性値を求める．次に，最少2乗法により濃度整合のための線形回帰式の係数を求め，得られた回帰式により写真2(2)の画像を濃度変換した．その結果を写真2(3)に示している．

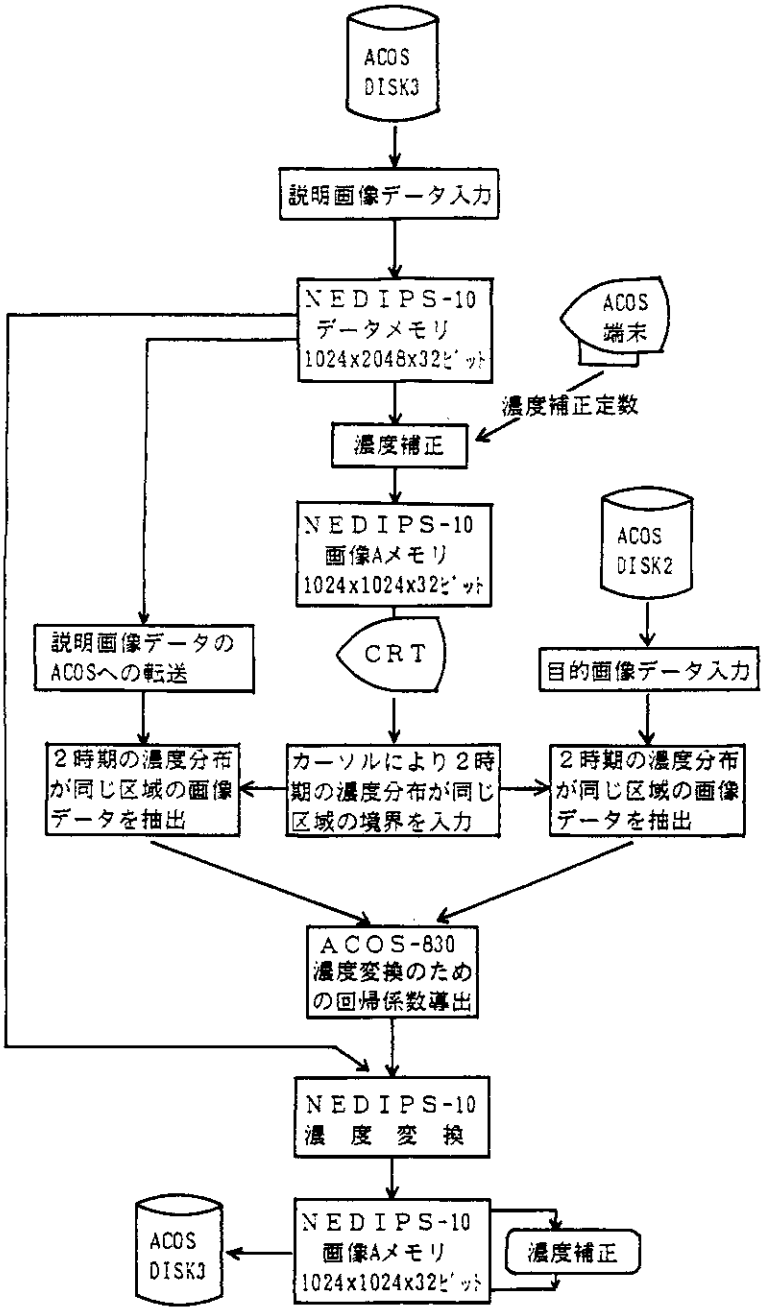
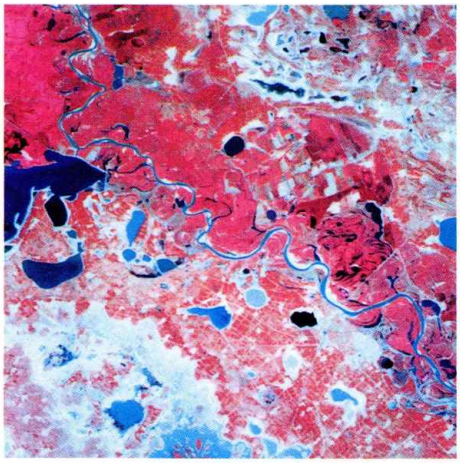
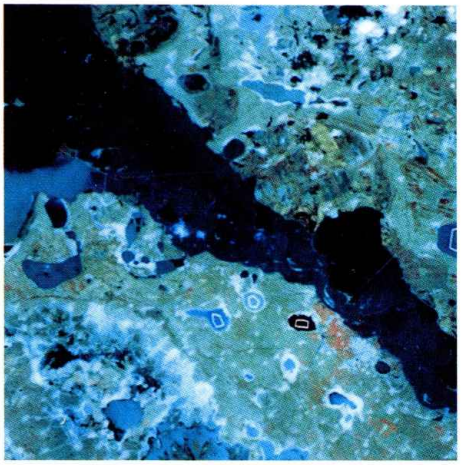


図5　2時期の画像の濃度整合フロー

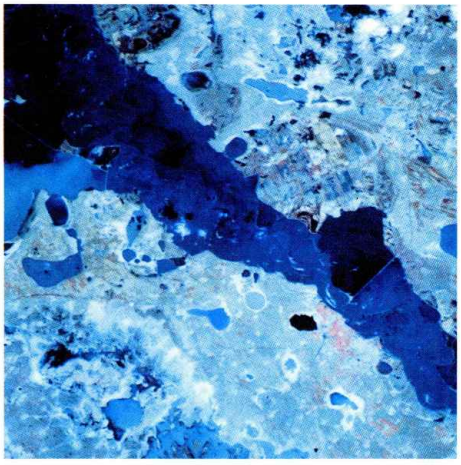
Fig. 5　Flow diagram of maching the grey levels in two satellite images taken at the different time



(1) 濃度整合を行うために基準とした衛星画像
(写真1(2)に同じ)
(1) The basic satellite image same as Photo. 1(1) to matching the grey levels



(2) 濃度整合を行う原衛星画像，黒竜江省と吉林省の境を流れるネン川沿いの氾濫時の衛星画像(MOS-1/MESSR, Sep. 30, 1988 撮影)，写真内の○，□印は濃度整合のための標本領域
(2) The objective satellite image in the flooding time along the Nen river taken by MOS-1/MESSR at Sep. 30th, 1988



(3) 写真2(2)の画像を写真2(1)の画像の濃度レベルを基準にして，濃度整合を行った後の衛星画像
(3) The satellite image after matching the grey levels of the image shown photo. 2(2) with other grey levels of the image shown photo. 2(1)

写真2 2時期の衛星画像の濃度整合結果
Photo. 2 Result of the grey levels matching of the two satellite images taken at the different time

2.4　画像の分類機能

衛星画像をスペクトル特性が類似する幾つかの区域に分けると，地表の状態がより鮮明に把握できることがしばしばある．そのため，衛星画像処理の中で画像分類は最も多く使用されている．画像の分類には形状特性による方法とスペクトル特性による方法があるがここでは後者の方法を用いた．即ち，標本区域内の各画素が有するスペクトル特性を多変量解析の手法により抽出し，このスペクトル特性値が類似する画素毎に対象領域を分類する方法である．本画像分類の機能は図6に示すように次の処理を行う．DISK 2内の画像データを高速I/O及び画像ライブラリによりデータメモリに並列転送する．その後，端末から入力した濃度補正定数にしたがって，データメモリ内の画像データを濃度補正してＡメモリに出力する．次に，CRT上において，任意形状の標本区域（以下カテゴリという）の境界をカーソルにより入力し，その境界データに基づきデータメモリの中から各カテゴリに属する画像データを抽出すると共に，それぞれのカテゴリ内の画像データのスペクトル特性を数量化する．その後，予め，オフラインでディジタイザにより入力しておいた地形図上の分類対象領域の境界データをDISK 4からACOSへ入力し，その境界データに基づき，データメモリの中から分類対象領域の画像データを抽出する．次に，先に求めた各カテゴリのスペクトル特性値と分類対象領域の画像データを比較し，最尤法，レベルスライス法，セル法等の手法を用いて，分類対象領域内の各画素がどのカテゴリに属するかを判断し，分類を行う．最後に，その結果を高速I/OによりDISK 3に転送し，更に高速I/O及び画像ライブラリによりDISK 3の分類結果をNEDIPSの画像Ｂメモリに出力する．

ここで開発した衛星画像の分類手法は２つの特徴を有する．１つは2.1で述べたと同様に，高速I/O及び画像ライブラリを用いた画像データ高速入出力であり，他の１つは画像上の任意のカテゴリ区域及びオフラインで入力した地形図上の分類対象領域の境界データから任意形状の領域の画像データを抽出できることである．具体的には各カテゴリ区域及び分類対象領域の境界上の点を一定の方向に任意の間隔でサンプリングする．抽出された点の間は直線で補完する．境界上の各点にはその左側と右側が同じ領域であるか無いかを識別する指標を図７に示す規則にしたがって付ける．この指標を作るのに最も注意した点は，境界上の点列位置がある区間においてＸ方向には変化するがＹ方向には変化しない場合である．ここでは点列の方向を判断して，その点列がＹ一定区間に入るＹの方向とそこから出るＹの方向が同じ場合は，この一定区間の入口の点の指標を１とし，他の一定区間の点の指標を０とする．一定区間に入る方向と出る方向が異なる場合はこの一定区間の点の指標をすべて０とする．次に，画像データを１ライン毎に入力し，これと境界上の点を重ね合わせ，境界点の指標により，その左側と右側の領域が異なる（指標＝１）か，等しい（指標＝０）かを判断し，図８に示すように１ライン上の各画素が領域の外か中かを左側から順番に決めていく．この手法を用いると任意形状の領域を容易に抽出することができる．

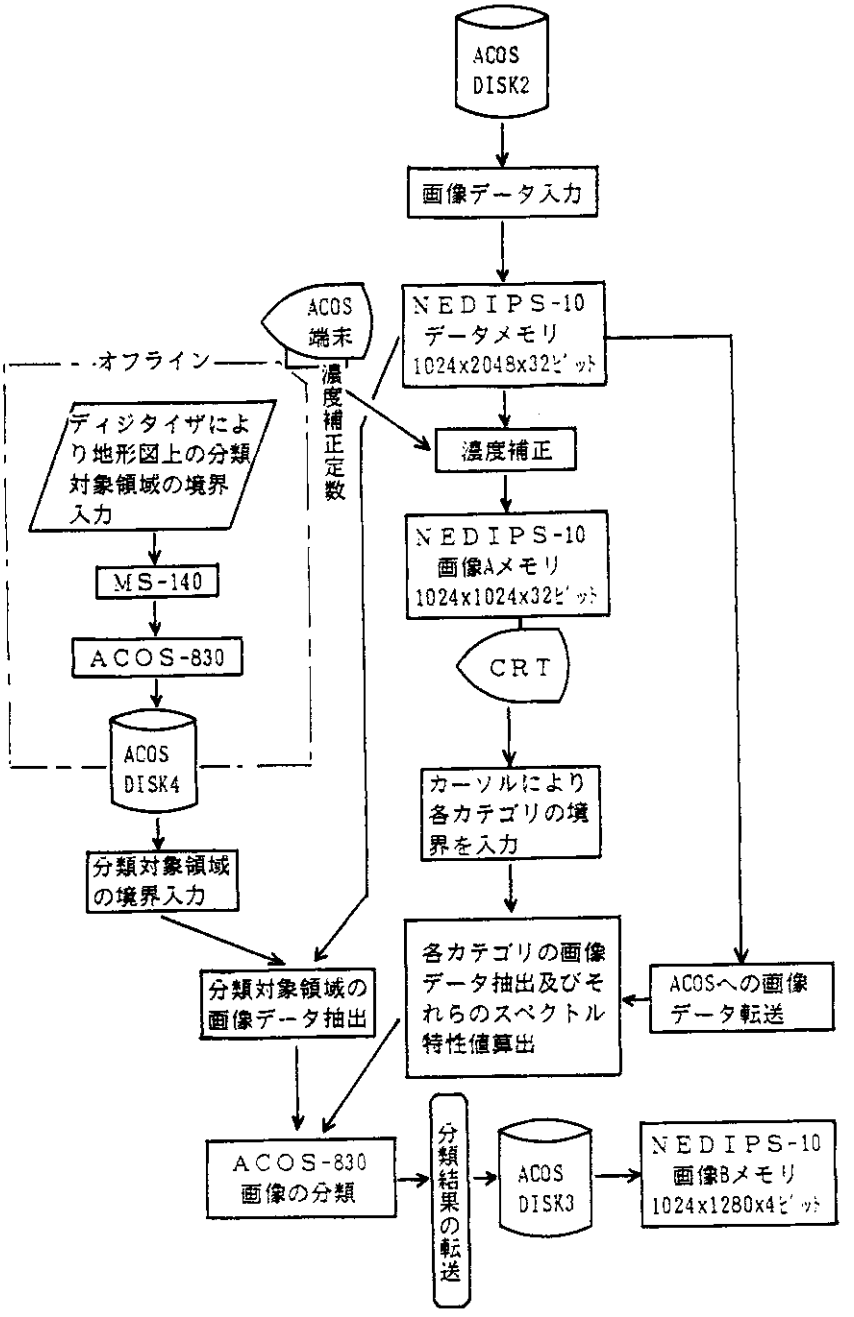


図6　分光特性を利用した画像分類のフロー

Fig. 6　Flow diagram of classifying the satellite image using the spectral properties in the supervisory areas

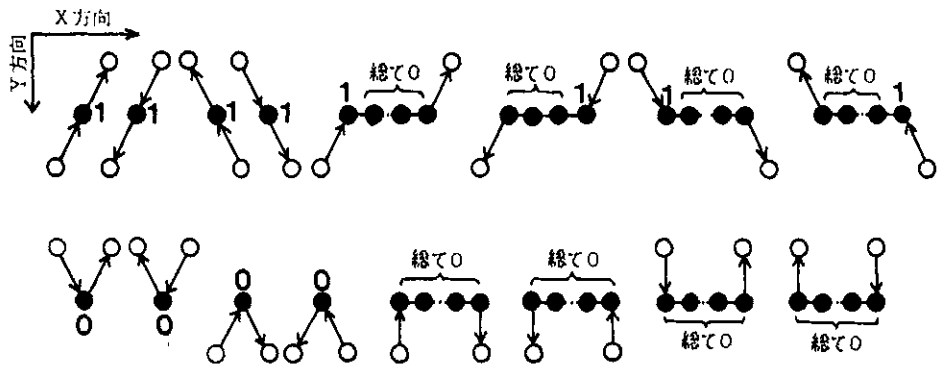


図7　画像データ抽出のための分類対象領域境界線上の指標
Fig. 7　Rule of indexes on the boundary line for sampling the pixels in the arbitrary

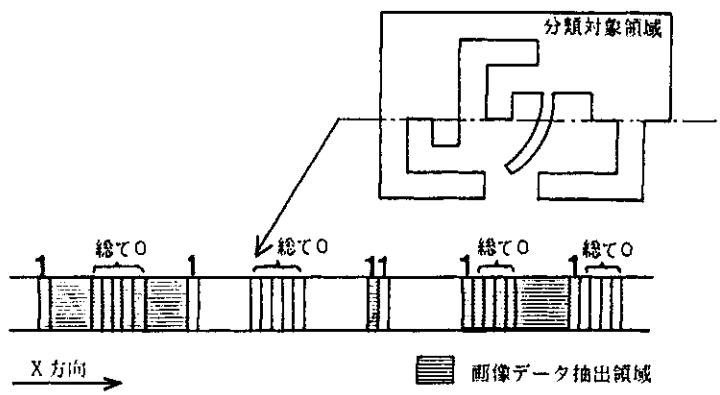
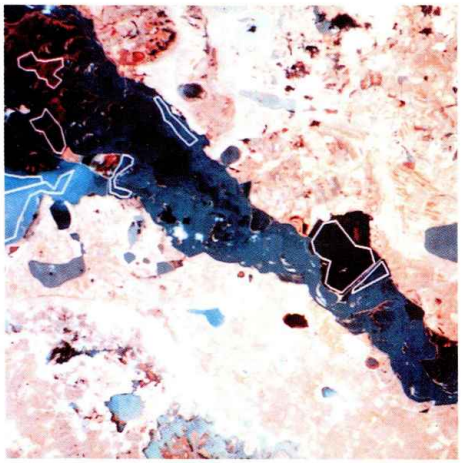


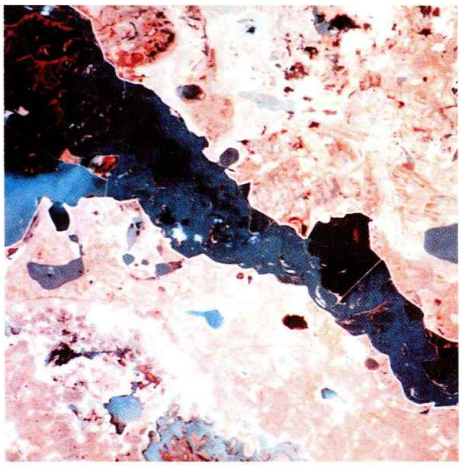
図8　1ライン毎の分類対象領域の画像データ抽出例
Fig. 8　Example of sampling the pixels every one line in the arbitrary classfing area

（応用例）

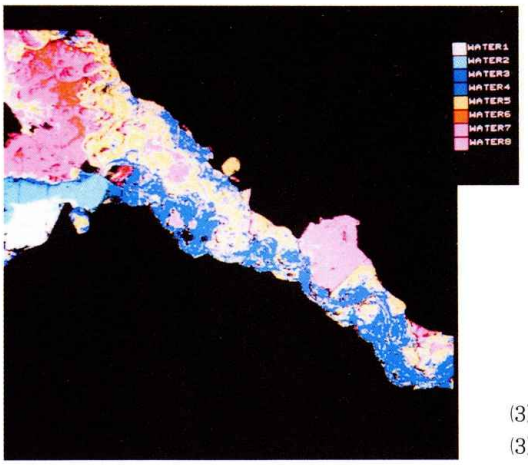
この事例は洪水氾濫区域内の洪水の主流路を求めるために行った画像分類の例である．場所は2.2と同様ネン川流域であり，写真3(1)に示す衛星画像を用いて，氾濫区域内の分類を行う．先ず，氾濫区域において，濁度の大きい区域，水深が深く主流路と思われる区域，水深が浅く水面下の植生が見える区域等8つの標本区域を選び，それぞれのスペクトル特性を求めた．次に，これらのスペクトル特性を用いて最尤法により写真3(2)に示す氾濫区域を分類した．写真3(3)にその結果を示している．



(1) 氾濫区域の標本領域
(1) Training area in the flooded plain



(2) 分類対象領域
(2) Objective area for classification



(3) 氾濫区域の分類結果
(3) Result of the Classification

写真 3 標本区域のスペクトル特性を用いた氾濫区域の分類結果
Photo. 3 Result of classification in the flooded area using the spectral properties in the supervisory areas

3. おわりに

この衛星画像処理システムの開発により，画像解析の基本的な部分である濃度補正，幾何学的補正，2時期の画像の濃度整合についてはデータフロー計算機NEDIPS-10により，データフローアセンブラを用いて高速処理が行えるようになった．今後は，最尤法等の画像分類プログラムについても，データフローアセンブラ化を行う予定である．近年，地球規模の現象を把握することが益々重要になってきており，既に，アジアモンスーン機構に関する研究もスタートした．これを推進するには地表面温度，土壌水分量，地表からの蒸発散量，大気中の雲水量及び水蒸気量，植生の種類・密度，積雪分布等の広域的な情報が必要となる．今後はこれら広域の情報を衛星データから推定するためのアルゴリズムの開発と広域の画像データのデータベース化を順次行っていく予定である．最後に，本システムの開発に協力頂いた日本電気株式会社の小関さとみ氏に感謝致します．

参　考　文　献

1）植原茂次・幾志新吉他(1985)：災害状況調査法，科学技術庁振興調整費によるリモートセンシング技術の利用実証に関する研究成果報告書
2）宇宙開発事業団地球観測センター(1989)：THE THIRD SYMPOSIUM ON MOS-1　VERIFICATION PROGRAM(MVP)
3）リモートセンシング技術センター(1980)：データ解析研究報告

(1990年2月2日原稿受理)