

F-2. 熱帯アジア地域における湿地の生物多様性保全に関する研究

(2) 人工衛星データ等利用による湿地植生分布の調査手法に関する研究

研究代表者 国立環境研究所 安岡 善文

環境庁 国立環境研究所

社会環境システム部

情報解析研究室

安岡 善文・田村 正行

山形 与志樹

平成5-6年度合計予算額	41,809千円
(平成6年度予算額)	30,872千円)

〔要旨〕

湿地の環境特性を把握する上で、湿地内の植生、水、土壌等の分布、さらには周辺の土地利用分布など各種環境パラメータの空間分布とその変化を知ることは不可欠である。しかしながら、広大でしかも人間が中に入って直接調査することの難しい湿地の環境パラメータを広範囲にわたって計測することは容易ではない。

本研究（サブテーマ）では、人工衛星からのリモートセンシングデータを利用して、湿地の環境パラメータとその変化を計測する手法を開発することを目的とする。特に、①世界各地から選択された代表的な湿地における植生分布等の環境特性を調査すること（地域的、局地的アプローチ）、また、②世界のどこにどのような湿地が存在するかその分布を調査すること（大陸的、全球的アプローチ）、の2つの視点から湿地環境を調査することを目的とする。

平成5、6年度（2年間）では、前記①を実施するために、アジア・太平洋地域の代表的な湿地において、LANDSAT TM、JERS-1 OPS、SAR、NOAA AVHRR等の画像データ約600シーンを検索、収集し、テストサイトである北海道釧路湿原（高層湿原）、マレーシア・マタンマングローブ林、タイ・プラチョキリカン湿地、オーストラリア・ワレゴ湿原等において、人工衛星データ及び現地での調査データを用いて、植生分類図等の環境特性分布図を作成した。リモートセンシングによる湿地域の土地被覆評価の新たな視点として、複数のセンサー、データを複合的に利用するセンサーフュージョン手法について、また、高分解能センサーデータを用いて得られる局所レベルの情報を、低分解能、広域センサーデータと併用することにより外挿して、広域化するためのスケーリング手法について検討した。

〔キーワード〕 湿地、湿原、リモートセンシング、植生分布

1. 序

ラムサール条約において水鳥等の野生生物保護の視点からの湿地の重要性が指摘され、また、地球温暖化対策においてもその原因となるメタンの発生源としての湿地の重要性が指摘されている。野生生物保護の立場から、また生物多様性保全の立場から、さらには、地球温暖化対策の立場からも、全球規模で湿地の分布や個々の湿地の環境特性を把握することは急務と考えられる。しかしながら、どのような種類の湿地がどこに分布しているのか、また、その湿地環境がどのように変動しているのか、湿地に関する情報は全球レベルにおいても、地域レベルにおいても極めて少ない。これは、一般に湿地が広範囲に及ぶこと、また通常人間がその中に入って直接調査す

ることが困難であることなどによる。

本研究（サブテーマ）は、湿地の分布及びその環境に関する情報を収集するために、人工衛星からのリモートセンシングデータを利用して湿地の環境特性とその変化を計測する手法を開発することを目的とする。まず、①各緯度帯の代表的湿地について、植生分布等の環境特性を調査する（局所/地域アプローチ）。さらに、② 上記の成果に基づき全球レベルで、湿地の分布を調査する（大陸/全球アプローチ）。② のアプローチでは、当面、アジア・太平洋地域を対象として、大陸レベルでの解析を試みる。

平成5、6年度（2年間）では、前記①の第一段階として、アジア・太平洋地域における代表的な湿地の人工衛星データ約600シーンを検索、収集するとともに、テストサイトである北海道釧路湿原（高層湿原）、及びマレーシア・マタン（マングローブ林）、タイ・プラチョキリカン湿地（高層湿原）、オーストラリア・ワレゴウ湿原（乾燥湿地）等において、人工衛星データ及び現地での実測データを用いたデータ解析を行い、植生分類図等の環境特性分布図を作成することを試みた。特に、湿地環境把握のためのデータ解析の新たな手法として、複数のセンサー、データを複合的に利用するセンサーフュージョン手法について、また、高分解能センサーデータを用いて得られる局所レベルの情報を、低分解能、広域センサーデータと併用することにより外挿して、広域化するためのスケーリング手法について検討した。

なお、本研究課題は、平成6年度（2年目）で一旦終了し、平成7年度より新規テーマとして、上記②の全球レベルでの湿地分布調査を中心に開始する予定である。

2. 研究方法

本研究は、(1)個別の湿地を対象としてその環境特性を詳細に調査する局所/地域（ローカル/リジョナル）アプローチ、及び、(2)全球を対象として湿地の分布を調査する大陸/全球（グローバル）アプローチ、の2段階のプログラムから構成される。以下に両プログラムの研究方法の概要を示す（図1）。なお、いずれのアプローチにおいても、従来からのリモートセンシングデータ解析手法のみでこれを実現することは難しく、本研究では、新たなデータ解析技術のテーマとして、センサーフュージョン（異種センサーデータの複合利用）とスケーリング（局所データと広域データの融合利用）について検討する。

（1）局所/地域アプローチ

方法

- ① 全球の各緯度帯から代表的な湿地を選択し、衛星画像データ（高空間分解能センサーデータ）を収集する。
- ② 植生、土壌等の分布及びその変動等に関する地上データ（グラントルース）を収集する。
- ③ 衛星画像データを用いて植生分類、土壌分類等土地被覆分類を行い、さらにその変化調べる。

研究の成果

特定湿地の環境主題図（植生、土壌分布図、その変化図：空間分解能 30～100m）

使用する衛星データ

高分解能センサーデータ：LANDSAT TM, MSS, SPOT HRV, MOS MESSR, JERS SAR, OPS, ERS SAR

（2）大陸・全球アプローチ

方法

- ① 全球レベル（当面はアジア太平洋地域）でNOAA AVHRR画像を収集する。NOAA AVHRRは空間分解

能は1 kmと低いが、観測幅が2700 kmと広く、同一地点を毎日2回観測することのできる、全球観測に適したリモートセンサーである。

②NOAA AVHRR画像を、①で使用された特定湿地の衛星画像と重ね合わせ、低分解能画像データと高分解能画像データを関連づけるスケーリングモデルを作成する。このモデルは、局所的に得られた情報を広域に外挿するためのものである。

③NOAA AVHRR画像から、上記②で作成されたモデルを用いて、湿地を抽出し、類型化を行う。

④上記③で作成された湿地類型図（分類図）をモザイクして、大陸/全球レベルの図を作成する。

研究の成果

全球湿地分布図（当面はアジア太平洋地域を対象とする：空間分解能 1~4km）

使用する衛星データ

低分解能・高頻度センサーデータ： NOAA AVHRR

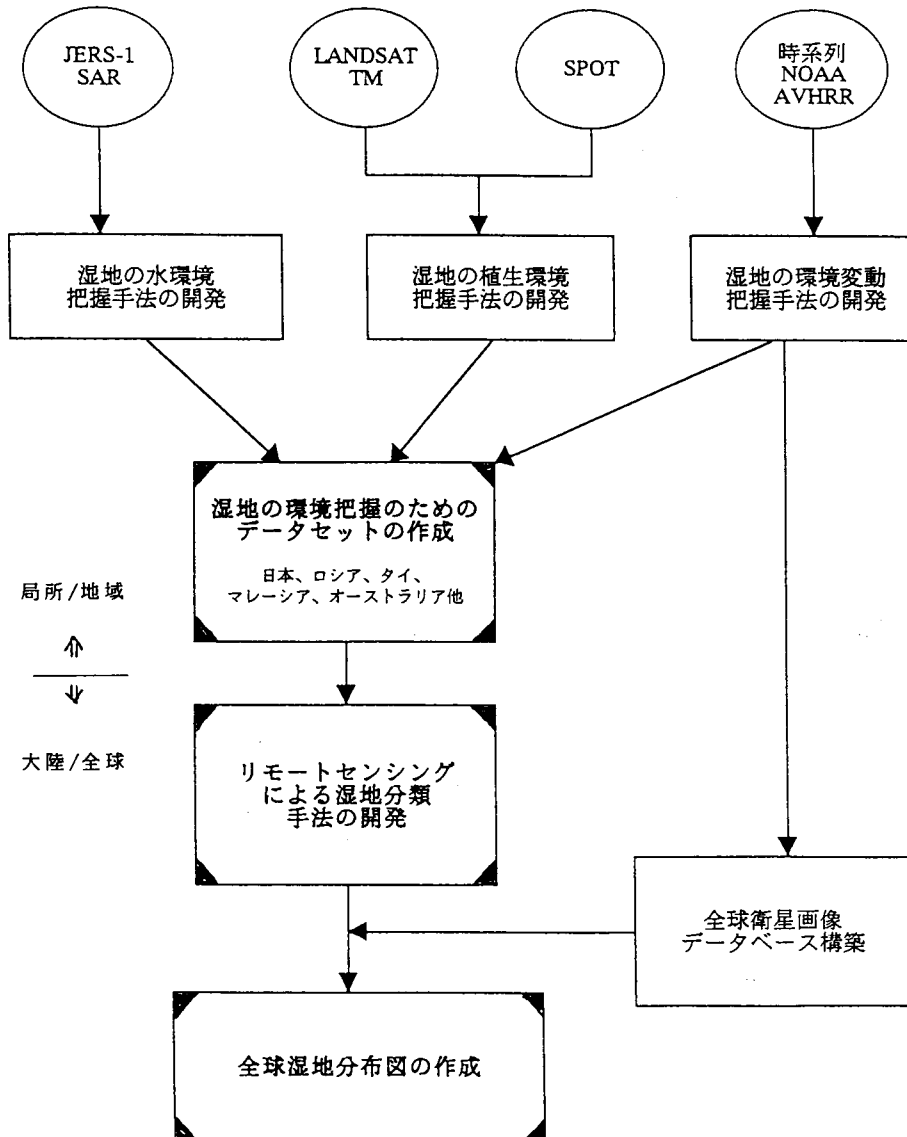


図1 湿地モニタリングの研究の流れ

(3) データの収集

平成5、6年度には、局所/地域アプローチの一環として、日本（釧路湿原）、ロシア（シベリアタイガ、ツンドラ）、タイ（プラチョキリカン湿地、ソククラ湖）、マレーシア（マタンマングロブ林、サバ、サラワク）、オーストラリア（ワレゴ、ダーウィン、タスマニア島の湿地）など代表的な湿地について、LANDSAT TM、JERS-1 SAR、MOS-1 MESSR 等の高分解能センサーデータを検索、収集するとともに、植生図等入手可能なランドトルスデータの収集を行った。オーストラリア、タイについては、現地に出張し、地上データを収集した。

また、東南アジア地域、ロシアシベリア地域については、大陸/全球アプローチの一環として、NOAA AVHRR の多年次データを検索、収集した。

(4) 新たなデータ解析技術の開発

① センサーフュージョン

湿地の環境特性は、その構成要素である植生、土壌、水の組合せ、およびその季節変化によって記述される。従って、湿地のリモートセンシングでは、上記の3つの要素個別の分布等に関する情報、およびその相互の関連に関する情報を広域的に、しかも時系列的に抽出することが必要となる。

従来からの LANDSAT TM 等の光学センサーでは、表面に現れている植生等の要素を観測することはできるが、植生下の水や土壌、また土壌水分などの情報を抽出することはできない。一方、JERS-1 SAR などのマイクロ波帯のセンサーは、波長が長いために、植生を通して地表面を観測できるため、植生下の水や土壌に関する情報を抽出することが可能であることが知られている。また、雲を通して地表面を観測できるため全天候型センサーとして利用できる。本研究では、湿地における植生、水、土壌の相互の関係を観測するために、光学センサーとマイクロ波センサーの複合利用（スペクトル複合利用）を検討する。

また、地表面の季節変化を観測するために、多季節のデータを重ね合わせる複合利用（時系列複合利用）する方法について検討する。さらに、広域湿地では一枚の衛星データで全域をカバーすることができず、複数の画像を合成したモザイク画像の利用が必要となるため、複数画像のモザイク作成（空間複合利用）について検討する。

② スケーリング

LANDSAT TM 等の高空間分解能センサーは、地上を30m-100m程度の精度で観測することができるが、その観測幅は100km-200kmと狭く、大陸/全球レベルで地表面を観測することは難しい。一方、NOAA AVHRR は、観測幅は2700kmと広いが、分解能が1kmと粗く、湿地の詳細な構造を捉えることは難しい。本研究では、高分解能センサーと低分解能センサーを重ね合わせ、これを複合的に利用して、高空間分解能センサーで得られる局所情報を低分解能センサー（広域センサー）データに変換し、広域に外挿する手法（スケーリング手法）について検討する。

なお、スケーリング手法は、大陸/全球アプローチ研究の主題であり、主に、平成7年度からの新規課題において検討することとする。平成6年度では、局所/地域アプローチの研究に重点を置き、主にセンサーフュージョンについて検討した。

3. データ解析 —湿地の土地被覆分布図の作成—

局所/地域アプローチの予備的研究として4ヶ所のテストサイトを対象に衛星データの解析を行った。テストサイトとしては、衛星画像データ及びランドトルスデータの比較的整備され

た北海道釧路湿原（高層湿原）、マレーシア・マタン（マングローブ林）、タイ・プラチョキリカン湿地（高層湿原）、オーストラリア・ワレゴー湿地（乾燥湿原）を選び、人工衛星データおよび地図、植生図等の現地データを基に植生図等土地被覆図を作成した。以下にデータ解析の概要を示す。

（１）北海道・釧路湿原 — センサーフュージョン手法の開発

釧路湿原は、北海道東部(43°10'N, 144°30'E)に位置する日本最大の湿地で、優占植生は、Sphagnum, Sedge, Reed, Alderなどである。ここではまず、LANDSAT TM画像を用いて湿原植生の分類を行った⁽¹⁾。釧路湿原の植生は季節によりその様相が大きく変化することから、一時期（季節）の衛星データのみで、地域内の植生分布を調査することは難しい。ここでは、初夏、盛夏、秋の三時期（1991年6月26日、1991年8月29日、1991年11月1日）のLANDSAT TMデータを収集して、これを重ね合わせた合成画像に対して処理を行った。すなわち、各時期のLANDSAT TM画像中の可視・近赤外バンド（1, 2, 3, 4, 5, 7の6バンド）を基に、3時期の画像を重ね合わせた計18バンドの合成画像を作成し、この画像に対して最尤法分類により植生分類を行った。分類カテゴリーは、植生5種類（Sphagnum, Sedge, Reed, Alder、森林）及び水域、その他の計7カテゴリーとした。各カテゴリーのトレーニングエリアには、現地調査のデータに基づき、全カテゴリーに対してそれぞれ十数カ所計約90カ所を選択した。各カテゴリーに複数のトレーニングエリアを選択したのは、対象地域では、地表面の状況や陰影の状況により、同じカテゴリーでも異なった分光特性を示すことが判明したためである。図2には、上記の方法により分類した釧路湿原の植生分類図を示した。本分類図は、現地データとの照合の結果、極めて高い精度を有することが判明した。

次に、マイクロ波波長帯のセンサーである合成開口レーダー（SAR）を用いて湿地の植生環境を計測することを試みた。湿地の環境特性を知る上で、地表面が冠水しているか、土壌水分がどの位か、は重要なパラメータとなる。植生も地表面付近の水分状況により大きな影響を受ける。地表面の冠水状態や土壌水分の分布状況は、植生がその上を覆っている場合、LANDSAT TM等の従来の光学センサーでは捉えることはできなかった。マイクロ波は波長が長いため、葉を通して地表面に到達し、植生に覆われている地域においても、地表面の状況を観測することができる。また、雲を透過して地表面を観測するため、雲に覆われていることが多い熱帯地域などにおいても全天候観測が可能である、という大きな利点を有する。

ここでは、地表面の冠水状況を考慮した上で湿地植生を計測する手法を開発することを目的として、マイクロ波波長帯のセンサーである合成開口レーダー（JERS-1 SAR, ERS-1 SAR）画像による植生分類を試みた^{(2)・(3)}。JERS-1 SARはLバンド（1.275GHz）、ERS-1 SARはCバンド（5.3GHz）のマイクロ波帯である。釧路湿原のそれぞれ3時期（JERS-1：1993/4/3, 6/30, 8/13、ERS-1：1993/4/29, 6/3, 8/12）のデータを用いて、最尤法分類、クラスター分類等により植生分類を行った。その結果、①一時期のみのSAR画像では、植生の分類は難しい、②多季節のSAR画像の組合せによる分類が有効である、③SAR画像は、LANDSAT TM等の光学センサーに比較しスペックル雑音による雑音の影響が強く、植生分類に先立ち雑音除去が必要である、④湿地植生の分類に関する限り、Lバンドの方がCバンドよりも有効である、などの結論が得られた。また、SAR画像（特にCバンド）では、光学センサーでは判読できない過去の湿地火災跡地が検知されるなど、従来の光学センサーでは得られない情報が得られることが判明した。一方、光学センサーとマイクロ波センサーによる植生分類の比較では、現時点では植生分類に関しては、LANDSAT TMによる分類が最も良い結果を示した。図3には、SAR画像による植生分類の一例として、上記のJERS-1 SAR画像（3季節）による釧路湿原の植生分類結果を示す。分類カテゴリーは図2に示したものと同一である。

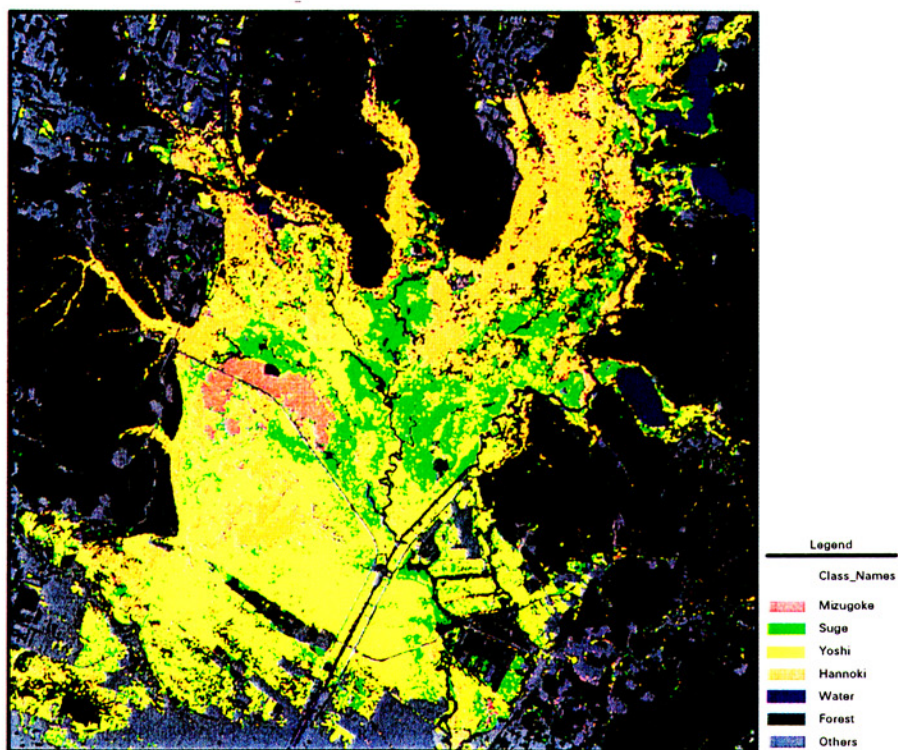


図2 北海道釧路湿原の植生分類図（1991年6月26日、8月29日、11月1日の3時期のLANDSAT TM 画像を用いて分類）

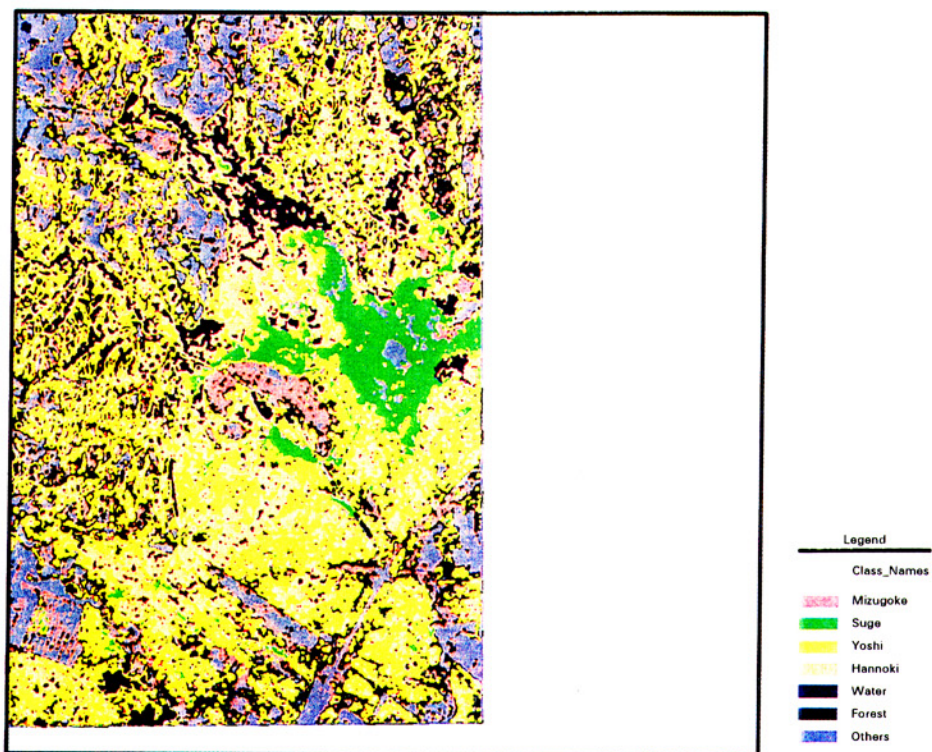


図3 北海道釧路湿原の植生分類図（1993年4月3日、6月30日、8月13日の3時期のJERS-1 SAR 画像を用いて分類）

(2) マレーシア・マタンマングローブ林 スケーリング手法の検討

マレーシア西海岸北部に位置するペラク州マタンマングローブ林(4° 50' N, 100° 45' E) を対象としてマングローブの分類を行った。まず、MOS-1 MESSR画像(地上分解能50m)を用いて、マングローブの生育年次による違いの判別を行った。本地域では雲のない多時期の画像が得られなかったため、1992年1月28日に観測された一時期のデータのみを用いた。図4には、最尤法分類による生育年次判別の結果を示す。分類に用いた地上のグランドトルースデータは、Perak State Forestry Departmentの発行した“A working plan for the second 30 year rotation of The Matang Mangrove Forest Reserve, Perak”⁽⁴⁾((財) 自然環境研究センターの提供による) で、分類カテゴリーは上記資料に示された、Period 1 charcoal、Period 1 Firewood、Period 2 Firewood、Period 3 Firewood、Dryland、Forest、New Forestなど10カテゴリーである。

図4に示されるように、分類結果は人工衛星画像自身の雑音のためにやや粗いものとなっている。また一時期のみの画像データを使用したため、植生の季節変化を反映したものとはなっていない。さらに、グランドトルースデータとして使用したデータが1981~82年に作成されたものであること、また、分類カテゴリーが必ずしも植生の分類とは一致していないことなどから、分類結果も高い精度のものとはなっていない。グランドトルースデータの得にくい地域を対象とする場合、どのように分類結果を検証するか、今後の検討課題である。

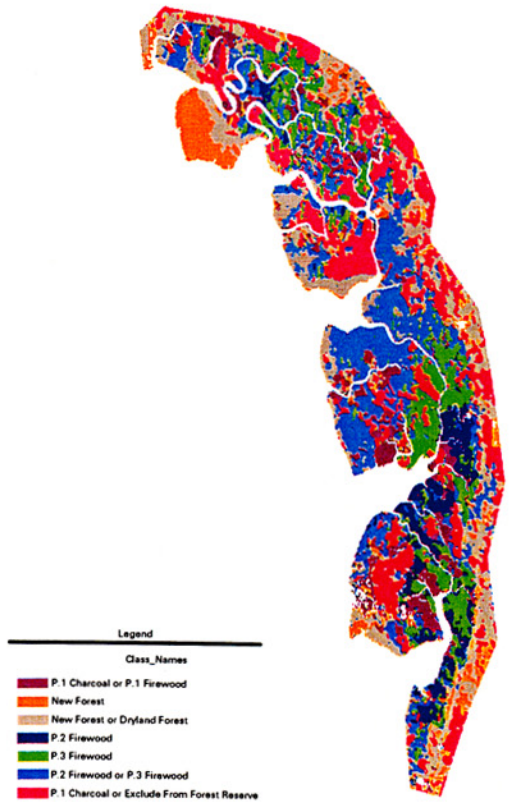


図4 マレーシア・マタンマングローブ林の植生分類
(1992年1月18日のMOS-1 MESSR 画像を用いて分類)

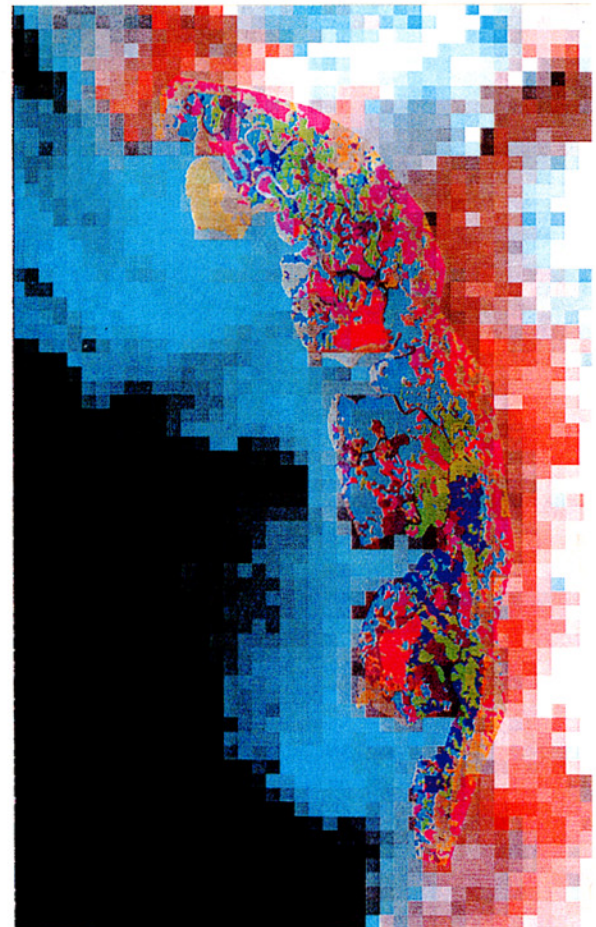


図5 マタンマングローブ林における
MESSR データと AVHRR データ
のスケーリング

次に、スケーリング手法の可能性を検討するために、MOS-1 MESSR の画像に NOAA AVHRR を重ね合わせ、両画像データの濃度間の関係を調べた。図5には、図4に重ねた NOAA AVHRR 画像を示した。NOAA AVHRR の可視・近赤外域の画像濃度は MOS-1 MESSR による分類結果と密接な関係を有しており、スケーリングの可能性が示された。

(3) オーストラリア・ワレゴ湿地 —衛星モザイク画像作成

ワレゴ湿地は、オーストラリア南東部（中心位置 29°0'S, 146°0'E）に位置する乾燥湿地で、上記の3例とは異なった環境を有する。湿原の西方は乾燥地に接しており、河川を中心とした約150km四方の湿原を形成している。

ここでは、まず、この地域の JERS-1 OPS の画像9シーンを合成し、湿原をカバーする衛星モザイク画像を作成した。OPS 各画像は DCW (Digital Chart of the World) 上の河川等情報を基に幾何補正を行い、緯経度座標系に変換して DCW に重ね合わせた。衛星画像において DCW との対応点がない場合は、隣接する画像間での対応点を基に幾何補正係数を決定した。DCW は精度が 1/100万の地図と同等であるため、LANDSAT TM、JERS-1 OPS などの高空間分解能センサーの幾何補正基準としてはその精度に限界がある。このため、画像のモザイクでは、隣接画像間に数画素のズレが出るなど問題が指摘されている。しかしながら、一般に、湿地域では十分に精度の高い地図が得られていないこと、また、全球をカバーする統一的な地図としては DCW のみであること、などからここでは、DCW を基準画像として用いた。

次に、モザイクされた OPS 画像の3バンドを用いて、クラスター分類と目視判読を併用する方法により、湿原の地表面被覆分類を行った。最終的な分類クラスは、1：水域、2：湿地（高湿域）、3：湿地（中湿域）、4：湿地（低湿域）、5：湿地植生（低）、6：湿地植生（高）、7：裸地（湿潤）、8：裸地（乾燥）の計8クラスである。分類手順は、まず、ISODATA法により、各画素を25のカテゴリーにクラスター分類した。25のカテゴリーは、各画素の分光特性のみから統計的に判別分類されたもので、物理的な意味は持たない。そこで、次に、クラスター分類の結果をスクリーン上で操作者が目視により判読し、各カテゴリーの意味付けを行った。目視判読の結果、25のカテゴリーを物理的に意味があると考えられる8クラスに統合し、全画素の分類の分類を行った。一般に湿地域では、地図、植生図などが無いことが多く、予め既知の情報を用いて分類を行う教師付き分類手法の採用は難しい。そこで、ここでは、既知の情報を使用しない教師無し分類手法として最も良く用いられるクラスター分類による方法を採用し、同時に分類に際して、人間の知識を積極的に取り入れるために、操作者による目視判読を併用して分類を行った。

図6にワレゴ湿地の分類図を示した。分類項目1-8は前述のクラスに対応する。また、図中の河川等の情報は DCW との重ね合わせにより付加されたものである。

4. 考察

図2-6の分類結果から、リモートセンシングによる湿地の植生分類を行う場合、

- ① 湿原植生の成育に対応して複数の季節に観測された多時期データを使用する
- ② 植生、水、土壌の組合せが季節により多様に変化する湿地環境を捉えるために、光学センサーとマイクロ波センサーのデータを併用するなど、異種センサーからのデータを複合利用する、
- ③ 地図、植生図などの十分な地上データが得られない場合が多いことから、適切な分類カテゴリーの選択、分類手法を採用する、

など基本的データの使用について十分な考慮が不可欠であることが判明した。

釧路湿原の分類（図2、3）では、多時期のLANDSAT TMデータが利用できたこと、SAR 画像の

LAND COVER CLASSIFICATION WARREGO

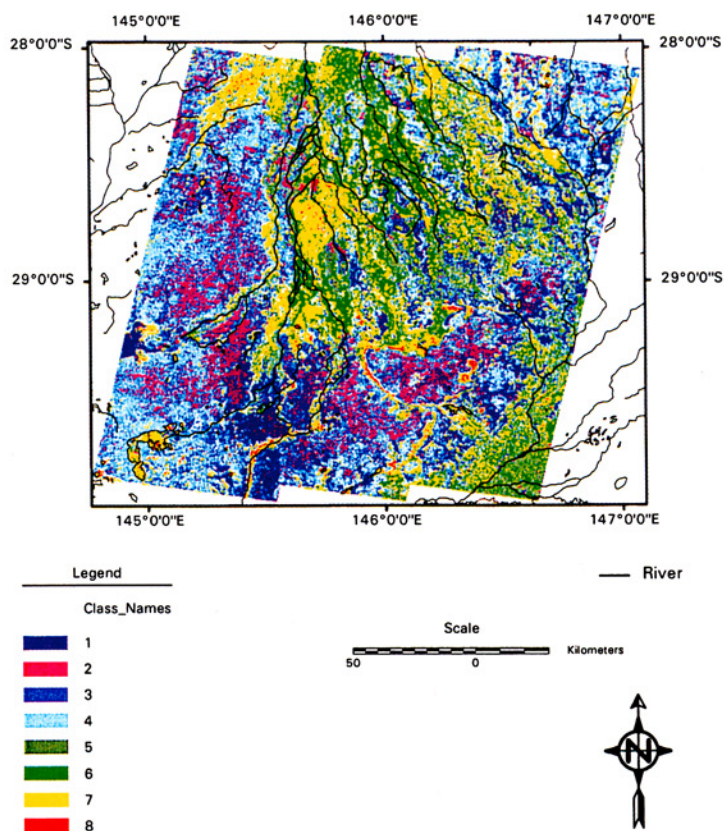


図6 オーストラリア・ワレゴ湿地の土地被覆分類図（JERS-1 OPS の9シーンのモザイク画像より作成）

併用ができたこと、また地上での調査が十分であったことなどから、高い精度の分類図が得られた。一方、マタンマングローブ林の分類（図4）では、天候の関係で雲のない良質の画像データが複数の季節で得られず、また得られた画像もTMに比較しややダイナミックレンジの低いMESSR画像であったため、輝度レベルの低い沿岸部で雑音が多かった。さらに地上調査データも1981～82年のものと古かったために地上との照合が必ずしも十分とはいえなかった。今後、SAR画像を積極的に利用し、天候によらずデータ収集の代表的な地域については十分な地上調査データの収集が必要であろう。

5. まとめ

全球レベルでの湿地分布図を作成するための第一歩として、人工衛星リモートセンシングにより個別湿地の植生分布、土壌分布等環境特性を計測する手法について検討を行い、日本、タイ、マレーシア、オーストラリアの個別湿地を対象として、衛星データによる土地被覆分類図を作成した。

また、衛星リモートセンシングによる土地被覆手法の新たな視点として、複数のセンサー、データを複合的に利用するセンサーフュージョン手法、また、高分解能センサーデータを用いて得られる局所/地域レベルの情報を、低分解能、広域センサーデータと併用することにより広域に外

挿して、大陸/全球レベルの情報を得るためのスケーリング手法について検討した。センサーフュージョンは、地表面の植生、土壌、水が組合わさった複合的な状況を把握する上で、また、スケーリング手法は地域レベルの環境情報と地球レベルの環境情報をつなぐ上で有効な手法であり、全球湿地モニタリングプロジェクトの有効な観測手段になると考えられる。

なお、本研究は一部、宇宙開発事業団との共同で実施されたものである。

6. 参考文献

- (1)Y. Yasuoka, Y. Yamagata and T. Tamura (1993):Global Mapping and Monitoring of wetlands with satellite Images. Proc. of SEIKEN symposium on Global Environment monitoring from Space, pp141-148.
- (2)Y. Yamagata and Y. Yasuoka(1993):Classification of Wetland Vegetation by Texture Analysis Methods Using ERS-1 and JERS-1 Images. Proc. of IGARSS'93, pp1614-1616.
- (3)Y. Yasuoka, Y. Yamagata, M. Tamura, S. Takeuchi(1995): Monitoring of Actual Vegetation Distribution and its Change by using Microwave and Optical Sensor Data. Project Report of JERS-1 (to be appeared).
- (4)Perak State Forestry Department (1982):A working plan for the second 30 year rotation of The Matang Mangrove Forest Reserve, Perak.

7. 国際共同研究の状況

本研究は、オーストラリア、タイとの共同研究として実施されている。また国際共同研究プログラムである IGBP-DIS の「1km Global Landcover プロジェクト」の準テーマとして認められており、IGBP-DIS が作成中の全球 1km NOAA AVHRR 画像データセットを提供される予定で、このデータセットを用いて湿地分布を評価するよう要請されている。なお、本研究は、1993年6月に釧路において開催されたラムサール会議において、その開始が発表され、各国への協力要請がなされた。

8. 研究発表の状況

- (1), (2), (3) 上記参考文献(1), (2), (3)
- (4)Y. Yasuoka, M. Tamura and Y. Yamagata (1994):Application of Remote Sensing to Environmental Monitoring-Wetland Monitoring (Invited paper).Proc. of the 3rd OWLS Symposium.
- (5)Y. Yasuoka, Y. Yamagata and M. Tamura (1994):Monitoring of Wetland Environment with Optical and Microwave Remote Sensing. Proc. of Japan-Korea Symposium on "Environmental Monitoring from Space in East Asia".
- (6)Y. Yasuoka, M. Tamura, Y. Yamagata, S. Takeuchi(1994):Monitoring of Wetland Environment in East Asia with AVNIR and OCTS. Preprint of the First ADEOS Symposium, 563-564 (Proceeding is to be appeared).
- (7)山形与志樹、安岡 善文他(1995):湿原植生判別に有効な波長帯の選定のための航空機MSSによるシミュレーション. 日本リモートセンシング学会誌、Vol.15(3) 掲載予定.