平成 12 年度助成研究報告

アマゾン川ヴァルゼア域における土地被覆状況の リモートセンシング解析

景山陽一*西田 眞*肥田 登**

Analysis of Lndcover Information Including Várzea in the Amazon Using Remote Sensing Data

Yoichi KAGEYAMA * , Makoto NISHIDA * and Noboru HIDA **

Key words: Amazon, remote sensing, várzea, landcover, fuzzy reasoning **キーワード**: アマゾン, リモートセンシング, ヴァルゼア, 土地被覆, ファジィ推論

I.はじめに

アマゾン川中下流域における河川水位の変動差 は年平均で約10mに達し,高水位となる季節に水 没する地域を含む水域はヴァルゼア(várzea)と 呼ばれる。ヴァルゼアは人間活動に最も密着した 地域であるため(IBGE,1977),河川水位の変動 と人間活動との関係をヴァルゼアに着目し,解析 することは非常に有用である。

一方,人工衛星などから取得されるリモートセンシングデータは広域性に優れた特徴を有しており,ヴァルゼアのように広域にわたって形成される領域をモニタリングすることが可能である。そこで筆者らは,ランドサット衛星のThematic Mapper (TM)データやJERS-1衛星のSynthetic Aperture Radar (SAR)データを用い,アマゾン川の水没域を含む水域を対象として検討を加えてきた(Nishida et al., 1998;景山ほか, 1998; Kageyama et al., 1999)。これらの研究は土地被覆状況やその変化特性に着目して行ったものであり,得られた推定結果と現地の土地被覆状況との 間には概ね良好な一致が認められた。しかしなが ら,水域状況を詳細に把握するためには,水位変 動によって生じる水没域,すなわち水域変化に 伴って生じる細かな土地被覆状況の変化を考慮す る必要がある。

そこで本研究では,土地被覆物の相違による地 表面温度の相対的な差異に着目し,熱赤外域で取 得されたリモートセンシングデータとこれまでの 研究により得られた土地被覆分類結果との比較を 行った。さらに,アマゾン川中下流域に位置する テフェ(Tefé)およびマナウス(Manaus)周辺 を対象として現地調査を行い,ヴァルゼアにおけ る土地被覆状況とリモートセンシングデータとの 関連について検討を加えた。

II.対象地域および使用データ

1) 現地調査

水没域に代表されるアマゾン川流域の土地被覆 状況を把握するため,最低水位となる時期に現地 調査を行った。すなわち,アマゾン川の水位(マ ナウス港管理局観測)は図1のような年変化(1985

^{*} 秋田大学工学資源学部

^{*} 秋田大学教育文化学部

^{**} Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University

^{**} Faculty of Education and Human Studies, Akita University

年から 1995 年までの平均)を示し,10 ~ 11 月に 最低水位が出現する(肥田ほか,1997)。中でも 11 月上旬の出現頻度が高いため,2000 年 11 月上 旬~中旬にテフェおよびマナウスを対象として現 地調査を行った。対象地域の概略を図2に示す。 なお,アマゾン川はマナウスとベレン(Belém) のほぼ中間に位置するオビドス(Obidos)を境と し,それよりも上流の水位は雨季,乾季に伴う年 変化を示すものの,下流の水位は潮の干満による 日変化を示す。これまでに筆者らが検討を加えて きた地域は,パリンティンス(Printins)西部に 位置するものの(図2参照),オビドスよりも上流 域におけるヴァルゼアなどの土地被覆状況は同様 の変化を示すことを現地調査および専門家により 得られた知見により確認している。従って,本研



図1 マナウスにおける水位の年変化(1986 1995 の平均,1988).

マナウス港管理局(Administração do P o r t o 究でも地域間の土地被覆状況の相違はないと考え, 以後の検討を加えた。

2) 使用データおよびデータの特徴

本研究では,受動センサであるランドサット5 号のTM センサによって1989年8月4日に取得 された画像データ(Path-Row: 229 062;以下, TM データと略記する)を用いて検討を加えた。 TM データは雲の影響を受けやすいため,雲量の 多いアマゾン川流域において利用可能な複数の データ入手は困難といった問題点を有している。 しかしながら,波長域の異なるセンサから取得さ れた計7バンドのマルチスペクトル情報を有して いるため,土地被覆分類が容易である。

TM データは可視域, 近赤外域および中間赤外 域において取得される分解能が30mの計6バン ドのデータと, 熱赤外域(波長10.4µm~12.5 µm)で取得される分解能120mのデータ(以下, 熱バンドデータと略記する)から構成される(宇 宙開発事業団地球開発センター, 1990), NOAA 衛星により取得されるデータ(分解能1.1km)と 比較し, ランドサット衛星により取得される熱バ ンドデータは分解能が優れているものの,他のバ ンドデータよりも分解能が劣る。従って,TM デー タを用いて土地被覆分類を行う場合には,熱バン ドデータは一般に用いられないことが多い(松本 ほか,1991), なお,画素値変換時に熱バンドデー タも他バンドデータと同じ分解能(30m)にリサ ンプリングしているものの,データ取得時の分解



図2 対象地域の概要.



図 3 ランドサット TM データ フォールスカラー (R,G,B;Band4,3,2).

能が低いため,水域やテラフィルメ(第3紀層台 地。詳細は後述する)といった土地被覆物の境界 域では,混合した情報として示されるミクセル (Mixed Pixel)となる割合が他バンドデータを用 いる場合よりも高い。

本研究で用いたフォールスカラー表示(R_G_B; band 4,3,2)のTM データを図3に示す。

また,熱バンドデータのヒストグラムを図4に 示す。このデータの最小値は140 最大値は167 平 均値は145.54 および標準偏差は2.15 であり,熱 バンドデータの画素値の取り得る範囲(140 ~ 167)は他のバンドデータと比較して狭いことを確 認している。そのため,濃度変換処理を施した熱 バンドデータを図5に示す。分解能30mのデー タ(図3)と比較し,分解能の低い熱バンドデー タ(図5)では細かな土地被覆状況の判読は困難 になる様子が認められる。なお,領域 ~ は比 較検討のために設定した地点を示しており,詳細 については後述する。

III.解析方法

1)ファジィ推論による土地被覆分類

本研究では前報(Nishida et al., 1998)で提案 した手法により得られた土地被覆分類結果を用い,



図 4 熱バンドデータのヒストグラム.



図 5 ランドサット TM データの熱バンドデータ (濃度変換処理済).

土地被覆状況と地表面温度の関連について検討を 加えた。分類手法の概要は以下のようになる。

リモートセンシングデータを用いて解析を行う 場合,多種多様な「あいまいさ」と,処理プロセ スに介在する「あいまいさ」を包含する形で処理 が行われる(Wang,1991)。しかしながら,これ らを数式化することは事実上不可能である。そこ で,「あいまいさ」を表すのに適するとの考えから, リモートセンシングデータをスペクトル特徴空間 上の「ファジィ集合」と定義し,TMデータ(熱 バンドデータを除く)を対象とし,ファジィ推論 を用いて着目画素のクラス占有率を算出した。な お,ファジィ推論の知識ベースは,推論規則,前 件部メンバ-シップ関数より構成され,ファジィ 推論法として,多重ファジィ推論形式において後 件部が実数値である簡略化ファジィ推論法を用い た(西田ほか,1996)。

次に,各バンドデータ(熱バンドデータを除く 計6バンドデータ)からエッジ(画像の濃淡が急 激に変化する領域)を算出し,エッジの得られた 画素および近傍画素は,複数のクラスから構成さ れるミクセルとして処理した。また,クラス占有 率の最大値がしきい値T未満の画素についてもミ クセルとして処理した。なお,しきい値Tは0.8 とした。

本研究では,以上の処理により着目画素を構成 するクラスおよびその占有率を推定し,対象地域 の土地被覆分類を行った。

2)土地被覆クラス

対象地域の代表的な土地被覆物として以下の5 クラスを選定した。

1.水域1:本流域またはそれに準じて流れる支 流域。浮遊物質量が多く,透明度が悪い。

2.水域2:パラナ(parana),フーロ(furo) などと呼ばれる氾濫域を流れる水域。浮遊物質量 が少なく,透明度が良い。

3. ヴァルゼア域:沖積低地。増水期に水没する 氾濫原で,主に várzea 域の林を植生とする地域。

4. テラフィルメ:第3紀層台地。増水期にも水 没しない,主に terra firme 上の森林を植生とする 地域。

5. その他:上記クラス以外の土地被覆物。例えば,裸地,道路など。

本研究で用いた手法はファジィ推論法によりミ クセルも考慮できるため,実際の出力結果として は"設定クラスのピュア画素","設定クラスに近 いと判別される画素"および"複数のクラスから 構成される10種類のミクセル"に分類される。

IV.結果および検討

1)土地被覆分類結果との比較

熱バンドデータにカラー処理を施した結果を図 6 に,前報により得られた土地被覆分類結果を図 7 にそれぞれ示す。なお,比較のため,各クラス に分類された座標位置における熱バンドデータの 値を用い,各クラスについてのヒストグラムを作 成している。水域の場合,"水域1"と分類された 地域(領域)では低い値(モード:141)を示し ているものの,"水域2"と推定された地域(領域

)の画素値(モード:146)は高い値を示してお り2クラスの差異は明瞭である様子が認められる。 これは水域1と比較し,水域2では流れが停滞し ているために昇温しやすいこと、気温の影響を受 けやすいことなどが理由として推測される。さら に、同じ水域2と推定された地域においても、領 域 はヴァルゼア域のクラスと推定された地域に 包含されているため、領域 の画素値よりも高い 値になったと推測される。なお、水域1と水域2 のミクセルと推定された地域(領域)では、両 クラスの平均的な値を示している。

次に,陸域の場合,"テラフィルメ"と推定され た地域(領域)における熱バンドデータの画素 値は低いものの,"ヴァルゼア域"およびヴァルゼ ア域と他のクラスとの"ミクセル"では高い値を 示している。また,境界域では両者の特徴が混在 しているため,水域同様得られた画素値は2クラ スの中間的な値を示している。例えば,水域に近 いヴァルゼア域では画素値は比較的低い値を示し ているものの,水域から離れるにつれて画素値は 高くなる傾向が認められる(領域)。なお,"そ の他"の地域は最も高い値を示しており,他のク ラスとの判別は容易である(領域)

アマゾン川流域における土地被覆状況との比 較

前述したように地表面温度を比較したところ, 水域1よりも水域2の水温の方が高い値を示して おり,この結果は測定した地点は異なるものの, 新見ほか(1997)による水温の調査結果とも一致 している。また,アマゾン川下流域において水温 を測定した結果ともその傾向は一致している (Hida *et al.*, 1998)。従って,水域の特徴の反映 された温度分布結果が得られていると考える。

一方, ヴァルゼア域と分類される地域において も実際の土地被覆状況は条件により異なる。例え ば,水域周辺では植生の丈も低いのに対し(図8), 水域から離れるにつれて,次第に植生の丈が高く なる。また,水際の地域よりもテラフィルメに近 い地域では,植生の種類も異なる。現地調査では,



図 6 熱バンドデータのカラー表示.

水没により変色している木が多数存在することを 確認している(図9参照)。このように水域からの 距離によって植生状況も変化しており,地表面温 度も同様の変化を示している。従って,植生の分 布状況は地表面温度の変化と関連した傾向を有し ていると判断される。

テラフィルメと推定された地域においても支流 間を結ぶ水路(furo)や,図10に示すような小河 川が多数存在している。これらの地形は熱バンド データの分解能に埋もれてしまうため,土地被覆 分類結果(図7下部参照)と比較し,周辺の土地 被覆物との差異抽出は困難である。しかしながら, 領域のように土地被覆状況の相違を示唆してい る領域も存在する。そのため,解析アルゴリムの 開発により,さらに詳細な土地被覆状況の判読が 可能と考える。

V.まとめ

本研究では地表面温度に着目し,これまでの研 究により得られた土地被覆分類結果との比較を 行った。さらに,アマゾン川中下流域に位置する テフェおよびマナウス周辺を対象として現地調査



図 7 土地被覆分類結果. 水域1:water-1,水域2:water-2,ヴァルゼア域:várzea, テラフィルメ:forest,その他:other classes



図 8 ヴァルゼア域の景観 水際), 2000年11月.



図 9 ヴァルゼア域の景観(森林近く),2000年11月.



図 10 小河川の一例, 2000年11月.

を行い,水域に代表されるアマゾン川流域の土地 被覆状況とリモートセンシングデータとの関連に ついて検討を加えた。その結果,温度分布の相対 的な差異により水質の判別が可能であることを明 らかにするとともに,テラフィルメやヴァルゼア 域およびその混在域(ミクセル)における地表面 温度の相対的な差異についても明らかにした。 従って,土地被覆物の相違により地表面温度も異 なるため,熱バンドデータが示す地表面温度はア マゾン川流域の土地被覆物を解析する上で有用な 指標の一つになり得ると考える。

なお,本研究で使用した熱バンドデータの分解 能(120m)は他のバンドデータ(30m)と比較 して低いため,各バンドデータの特徴を効果的に 利用可能な土地被覆物の解析手法を開発する必要 がある。そのため,解析手法の開発およびその手 法を用いた土地被覆状況に関する検討を今後の課 題と考える。

謝辞

現地調査に関して協力下さった Millersville 大学の Mario Hiraoka 教授に謝意を示すとともに,本研究に協 力下さった本学情報工学科石沢千佳子助手並びに工藤航 也技官に謝意を示します。また,本研究で行った現地調 査は 2000 年度東京地学協会研究・調査助成金により行 われたことを付記し,深謝致します。

文 献

- 肥田 登・ジョゼ デゥジャルマ・水谷宣明・新見 治 (1997): ブラジル,マナウスにおけるリオ・ネグロ川の 水位の年変化.秋田大学教育学部研究紀要(人文・社 会)52,153 158.
- Hida, N., Maia, J.G., Shimmi, O., Hiraoka, M. and Mizutani, N. (1998) Annual and daily changes of river water level at Breves and Caxiuanã, Amazon Estuary. *Geogr. Rev. Japan*, **71B**, 100 105.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatistica (1977) *Geografíja do Brasil, Regiao Norte.* Rio de Janeiro, 466p.
- 景山陽一・西田 眞・肥田 登 (1998): 局所フラクタル 次元を考慮したアマゾン川中下流域におけるヴァルゼ ア域の推定.電気学会論文誌,118-C 11,1570 1576.
- Kageyama, Y., Nishida, M. and Hida, N. (1999) Comparison of JERS-1 SAR and Landsat TM Data for Estimating Water Areas in the Amazon. J. Geography, 108, 552 561.
- 松本雅雄・藤九浩基・土屋 清・新井康平(1991) 最尤 推定法に基づくカテゴリー分解. 写真測量とリモート センシング, **30** 2, 25 34.
- 西田 眞・大塚 敬・田畑 亮(1996)ファジィ推論に

よるミクセルのクラス混在率推定.電気学会論文誌, 116-C 3,359 366.

- Nishida, M., Kageyama, Y. and Hida, N. (1998). Estimation of Water Areas in the Amazon on Landsat-TM Images. J. Geography, **107**, 61 76.
- 新見 治・肥田 登・Maia, J.G.・マリオ平岡(1997) アマゾン河における高水位期のバルゼア景観. 香川大

学教育学部研究報告, I 100, 57 87.

- 宇宙開発事業団地球観測センター(1990) 地球観測デー タ利用ハンドブック, ランドサット編・改訂版. リモー ト・センシング技術センター, 5 4.
- Wang, F. (1991) Fuzzy supervised classification of remote sensing images. *IEEE Trans., Geoscience* & *Remote Sensing*, **28**, 194 201.