

衛星を使った広域森林モニタリング

森林減少・劣化の現況/インドネシアからシベリアまで

大 平 亘

1. はじめに

(社)日本森林技術協会はアジア広域の森林の動態を把握するために林野庁の国際林業協力として「アジア東部地域森林動態把握整備事業」を関係各国の協力のもと実施した(2001年～2005年)。衛星リモートセンシングによって1999年から2004年の間の森林の動態をモニタリングして、主に森林の減少・劣化状況を調べ、基礎情報として関係各国へ報告する事業である。この事業で使われた衛星リモートセンシングによる森林モニタリングの手法と各地の森林の現状について報告する。

2. 広域を対象とする衛星リモートセンシング

多くの衛星データが利用できる現在、各国、地域ごとに衛星リモートセンシングを使って森林の状態が調査され、情報が蓄積されつつある。しかし、それらの情報はその目的によって手法や調査内容が異なっているため、経年の変化を容易に比較することはできない。また、国レベルをこえた広い範囲の状況をまとめた情報も少なく、継続的に情報を比較するための容易な手法も確立していない。グローバルスケールの視点から見た基礎的なモニタリング情報を整備することは、地球規模での環境変化を把握するだけではなく、国や地域レベルでの計画や調査の立案、実行を効率的にするものである。このような観点から広域観測衛星データを基に客観的な基準と手法によって森林の状態を示す手法を開発した。

Wataru Ohira : The Basic Information on Forest Monitoring with Time-series Observation Data

(社)日本森林技術協会

3. 使用した衛星データ

対象とする範囲が非常に広いことや安定した観測データの入手などを考慮して、使用する衛星データを検討した。アメリカの衛星 NOAA のデータは入手できるデータの品質の差が大きく、比較検討を行うためには補正処理に多くの時間が必要と考えられた。同じくアメリカの衛星 TERRA に搭載されている MODIS センサーのデータは、調査開始当時（2000 年）は衛星の運用が開始されたばかりの状況下にあり、対象とする地域の安定したデータの入手に不安があった。フランスの衛星 SPOT に搭載されている VEGETATION センサーのデータ（以下 “SPOT VEGETATION” と記す）が安定した衛星の運行と均質なデータの配布を期待できることから、このデータを使用することとした。SPOT VEGETATION データは低解像度衛星データと区分されている。地上での解像度は約 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ と低いデータであるが、同一地点を毎日観測できるという利点があり、時間的解像度が高い衛星データの一つである。データの配布元 (<http://spot-vegetation.com/>) が、ある程度の補正処理を行なったデータを提供しているため、均質なデータがインターネットを利用して無料で入手できる。10 日間ごとに合成された NDVI (Normalized Difference Vegetation Index/正規化植生指数) データ (S10 プロダクト) を 1998 年 10 月から 2005 年 3 月まで入手し、これを基に解析を行った。

4. 雲の影響の軽減

上空から地表面を観測する上での問題の一つに雲の影響がある。雲に覆われた地域の地表面は撮影されない。また、大気の状態が異なると同じ森林の状態でも異なった信号として記録される。このような影響は 10 日間合成を行うことで、ある程度軽減されるが十分ではない。時系列に観測されたオリジナルデータに対して植物の一年サイクルの周期性に着目し、雲のない状態のデータを推定する局所最大値フィルターと周期関数のフィッティング処理を施した。この処理を行なった年間の時系列観測データから植物の季節変化を見ることができるようになる。

5. リモートセンシングで森林を表すということ

森林を表す情報として林相、樹高、疎密、森林の分布、分布形状の断片化、材積などのバイオマス、さらには呼吸量や光合成量など生理的な状態がある。

衛星データを基にして表すということは、これらの情報を推測することになり、得意なものもあれば不得意なものもある。森林分布を表す上でも、衛星リモートセンシングは、生態学的に定義される森林や法律などで規定される森林と同等な森林を抽出することは困難である。したがって衛星リモートセンシングは衛星データの特性を基にした基準や指標を使って森林を表すことになる。また、継続したモニタリングで変化や動態を把握するためには、客観的な基準や指標また同一の手法によって情報が整備されている必要がある。

6. 森林状態の地域差

地球規模の視点で観測するということは、夏と冬、雨期と乾期という相反する季節の地域が同時に存在し、それぞれの森林の季節的な状態の違いを観測することになる。また、標高の違いによっても森林の季節的な違いが表れる。したがって、ある一時点の観測データを基に解析した場合、解析された森林は季節的な状態の差異を含んだ結果を表すことになってしまう。年ごとの森林の状態を比較する場合、季節的な状態の違いに左右されない判定手法を利用する必要がある。

7. 森林率の推定と森林の抽出

森林分布を示すために、年間観測データの全てを基に森林を判別することにした。森林は樹冠投影面積の占める割合によって判別することが一般的であることから、衛星データの一画素に含まれる樹木に覆われた箇所の割合を推定し、この割合を森林率として森林率 60%以上の画素を森林と判別した。

一画素ごとの森林率を以下のモデル式を用いて推定し、全域の森林を抽出した。

$$y = 0.737 \times x_1 - 0.106 \times x_2 + 0.482 \times x_3 - 0.001 \times x_4 + 0.806 \times \cos(x_5) - 108.602$$

y : 森林率 (%)

x_1 : NDVI の年間上位 12 時点の平均*

x_2 : NDVI の年間最大値と最小値の差*

x_3 : 観測時に $NDVI > 0.7$ であった回数

x_4 : 標高 (m)

x_5 : 緯度 (deg)

* SPOT VEGETATION データのデジタル値

8. 森林変化の考え方

森林の変化には、伐採や火災などによる森林の消失、植林や自然植生回復などによる森林の増加といった「量の変化」と病虫害、気象害、林床火災や植生遷移の過程など「質の変化」がある。

変化は比較する時点、期間の設定によって把握できる内容が異なる。森林の減少に関する状況の把握は短期間の比較でも容易であるが、増加に関する状況の把握は樹木の成長速度が遅いため長い期間での比較が必要となる。

そこで、森林の変化の様態（パターン）は以下のように考えた（図1）。

8-1 森林の量の変化

森林減少：森林として抽出された箇所が森林として抽出されなくなる変化（森林率60%以上の箇所が時間推移に伴い60%未満になる変化）。森林の伐採、山火事などによる短期間の急激な減少等。

森林増加：森林として抽出されなかった箇所が森林として抽出される変化（森林率60%未満の箇所が時間の推移に伴い60%以上になる変化）。植林、森林造成および成長に伴う森林の増加。

8-2 森林の質の変化

森林劣化：森林率60%以上の箇所において、時間の推移に伴い森林率が減少する変化。ただし、変化後でも森林率は60%以上。山火事、気象害の被害等による森林率の減少。

森林改良：森林率60%以上の箇所において、時間推移に伴い森林率が増加する変化。山火事、気象害等の被害跡地の回復。

また、比較する時間の捉え方によって表すことのできる変化も異なる。二時点のデータを基にした場合は差としての変化が求まり、森林の減少や劣化といった変化が表れる。時系列のデータからは値の傾向やバラツキを求めるこ

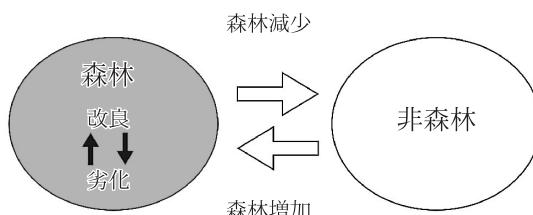


図1 森林変化の様態（パターン）

ができる、植生の生育状況傾向などを表すことができる。

9. 森林減少・劣化の状況

1999年と2004年の6年間の各地の森林減少・劣化の状況を以下に記す。

1) インドネシア/スマトラ島(図2)

スマトラ島中央部に減少・劣化箇所が多く見られる。これらの変化箇所は天然林の減少だけではなく、現地で既に行なわれていたオイルパーム園など老齢化したプランテーションの更新に伴った土地被覆状態の変化が表れていることも考えられる。

使用したSPOT VEGETATIONデータの地上解像度は約1 km²であるため、森林として抽出されるためには、まとまった広がりを持つ森林が存在していることが必要である。この1 km²という単位で現地を見ると実際には森林以外の土地利用が含まれる場合が多いようである。スマトラ島の平坦な地域にはまとまった広がりを持つ森林が少ないことが示唆される。

2) ミャンマー/カチン州(図3)

ミャンマーの北部、カチン州の中国との国境付近の山岳地帯は森林劣化が多く見られる地域である。この周辺はアクセスが悪いため、国の森林管理が行き届かない地域である。近くに大きな木材の消費地はないので、かなり遠くの消費地までイラワジ川を使って運ぶ必要がある。国境を挟んだ中国側に減少・劣化箇所が少ないと対照的である。

3) フィリピン(図4)

ルソン島の北西部とミンダナオ島中央北部に森林劣化箇所がみられる。フィ

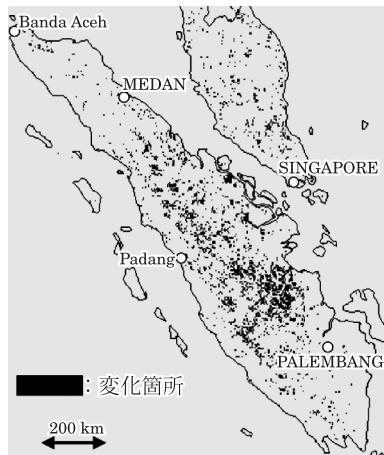


図2 スマトラ島の減少・劣化箇所

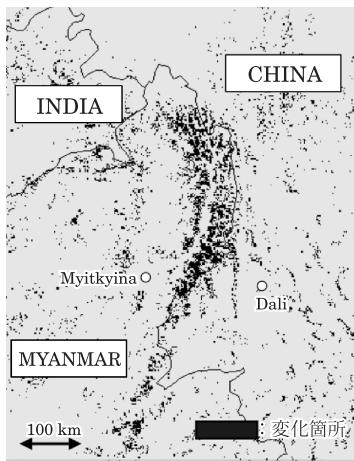


図3 ミャンマーの減少・劣化箇所



図 4 フィリピンの減少・劣化箇所

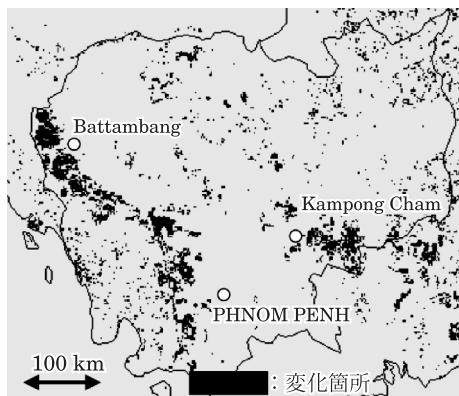


図 5 カンボジアの減少・劣化箇所

まっている。また、北部の国境付近にも減少・劣化箇所が散在している。

6) 中国とロシア国境付近 (図 7)

中国北部の黒竜江省とロシアのチタ共和国、アムール共和国周辺の森林減少・劣化箇所の分布からいくつか面白いことが推測できる。シベリアの森林火災はよく耳にするニュースの一つで、シベリアから極東地域にかけての森林減少・劣化の状況は、SPOT VEGETATION のように地上解像度の低いデータ

リpinもまとまった森林が少ないことから、これらの変化箇所は森林の劣化のみならず土地利用形態の変化があった地域であることが推測される。

4) カンボジア (図 5)

対象地域の中でカンボジアは特に森林減少・劣化が目立つ国の一である。東部のカンポンチャムからベトナム国境にかけての地域、西部のタイとの国境付近、首都プノンペンの西側のカルダモン山脈などを始めとして、国内各地で森林の減少・劣化が見られる。森林の減少・劣化の動きはこの 6 年間に始まったことではないが、貴重な天然林が急速な早さで減少している国の一つと見ることができる。

5) 韓国・北朝鮮 (図 6)

韓国では東部の沿岸部、サンチョク市周辺に減少・劣化箇所が見られる。これは 2000 年 4 月に発生した大規模な森林火災の跡地が抽出されたものである。

北朝鮮は平壌の北部地域に減少・劣化箇所がある程度まと

でも確認ができる。特にチタ共和国などではこの6年、非常に多くの森林が火災または伐採により消失していると見ることができる。観測データの急激な変化から火災による消失と考えることが妥当と思われる。一方、アムール川を挟んで中国側は局所的に大きな森林減少・劣化箇所があるものの、ロシア側のような散在した分布を示していない。中国側に森林そのものが存在しないのならば別であるが、森林は分布しており、過去に発生した大規模な森林火災の跡地には二次植生が回復している。このことから森林火災の原因が自然発火とは考えにくい現状が減少・劣化箇所の分布から推測できる。

10. 森林指数 (Forest Index : FI)

森林の分布を地理的な位置関係の中で比較したり、森林の1年の状態を他の年と比較する指標として森林指数を考案した。

森林のNDVI値は林相や場所に関係なく毎年必ず一定の値を超えると考えられる。1年間の観測されたNDVIで、設定基準値を超えるNDVI値から設定基準値を差し引き、それを年間積算値にしたものを作成したものを森林指数 (Forest Index : FI)とした。森林指数は森林の活性期間のNDVIの積算値であり、この値を比較することで森林のタイプ、林相、活性期間の生育状況や気象の状態などが推測できる。

SPOT VEGETATIONデータでは以下の式によってFIを算出した。



図6 朝鮮半島の減少・劣化箇所

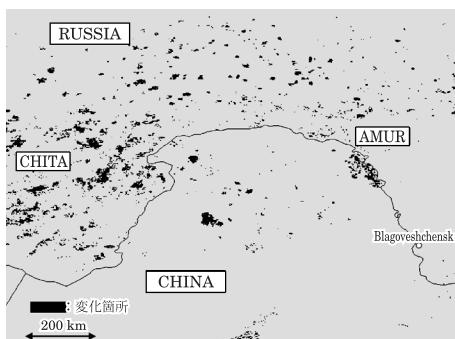


図7 ロシア与中国の減少・劣化箇所

$$FI = \Sigma (X - 0.7)$$

$0 \leq FI \leq 10.8$ (S10 データ, 年間 36 ファイルの場合)

X : 一年の中で 0.7 を超える NDVI 値

この森林指数が大きい箇所の森林は、緑の葉に覆われている期間が長い常緑林と見ることができる。森林指数が小さい箇所の森林は、1年の中で生育期間と生育の休止期間がある温帯や亜寒帯などの森林とみなすことができる。熱帯、亜熱帯の中では常緑林と落葉林の違いが差に表れ、また森林以外の土地被覆が含まれている箇所であることも推測できる。

11. 森林の生育状況の傾向

FI の値のトレンド（傾向）から、気候帯や林相などの違いごとに森林の生育の状況がどのような状態へ向かっているのか推測できる。

1999 年から 2004 年までの 6 年間のトレンドを見ると、温帯から亜寒帯の積雪の多い地域の森林のトレンドは上昇傾向にある。地球温暖化の影響で積雪期間が短くなっていることや、気温の上昇が植物の生育状況に変化をもたらした一例かもしれない。同じように、熱帯や亜熱帯の比較的標高の高い地域に分布する森林にも上昇傾向のトレンドが示されている。

このように森林のモニタリングは「量」の情報だけではなく「質」の情報も地球規模で見ることでき、モニタリングの基礎情報の一つとして有用であると考えられる。

12. まとめ

本手法は広範囲の基礎情報、特に森林の分布や変化の状況を示すもので、面積や変化規模を定量化することには適していない。しかし、概況を把握することで注目すべき地域の絞り込みを可能にする。広域に対して客観的で基準の統一性が保てるような解析手法を使用したが、必ずしも当てはまりがよくない地域もあった。モンゴルなどでは 1 km^2 という単位で森林の被覆率 60% を判断の基準とすると、現地の基準で森林と見なされるものが抽出されてこない。このような場合は判断の基準を下げることで現地の基準にあてはまる森林を抽出できる。モニタリングの対象が明確であれば、設定値を調節したデータを比較することによって対象地の経年の動きを見ることが可能となる。このように衛星を使ったモニタリングは解析手法や基準、指標が客観的なものであれば、時間の経過と変化の状況を比較できる。

的確な基礎情報はより詳細な情報構築のための経費と時間を節約する。今後、情報がさらに整備、蓄積されていくことによって、森林の経年変化がより的確に把握できるようになり、そして各種の情報がもっと身近なものになることで、世界の森林の適切な利用と保護・管理が行なわれることが期待できる。

ここで紹介した情報の詳細はインターネット (<http://tech-forest.jp>) で公開している。

熱帯林業関係テキスト

国際緑化推進センター刊行

1. 热帯の造林技術 浅川澄彦著 1999 年改訂 117 p
2. 実践的アグロフォレストリ・システム 内村悦三著
2000 年改訂 116 p
3. 热帯地域における育苗の実務 山手廣太著
1994 年補訂 130 p
4. 热帯の土壤 —その保全と再生を目的として—
八木久義著 1994 160 p
5. 热帯の非木材産物 渡辺弘之著 1994 109 p
6. 热帯の森林病害 小林享夫著 1994 166 p
7. 热帯の森林害虫 野淵 輝著 1995 263 p
8. 热帯樹種の造林特性 卷 1~3
森 徳典他編 1996/97 255~300 p
9. マングローブ植林のための基礎知識
馬場繁幸・北村昌三著 1999 139 p
10. 社会林業—理論と実践— 野田直人著 2001 126 p
11. みんなに知ってほしい 地球環境と森林
浅川澄彦・森 徳典著 2002 29 p
12. **Handbook of re/afforestation in the Tropics**
by S. Asakawa (テキスト 1 の英訳版) 1998 119 p
13. **Diagnostic Manual for Tree Diseases in the Tropics**
by T. Kobayashi 2001 178 p. 426 版の病徵カラー写真