

透明かつ検証可能な手法による吸収源の評価に関する研究

(6) リモートセンシングを用いた新規植林、再植林、森林減少の計測に関する研究

独立行政法人森林総合研究所

海外研究領域

沢田治雄

四国支所

流域森林保全研究グループ

小谷英司

平成 13～15 年度合計予算額 13,977 千円

(うち、平成 15 年度当初予算額 4,497 千円)

[要旨] 中解像度人工衛星画像は広域での土地被覆変化のモニタリングに適するが、衛星画像のみでは ARD(新規植林、再植林、森林減少)という土地利用変化と伐採や造林等の林業活動との区分が困難である。そこで、入手が容易な環境省植生図、森林の現況を示した森林基本図、時系列の中解像度人工衛星画像(LANDSAT TM)、空中写真を GIS 上で組み合わせて利用することにより、流域スケールで伐採や造林等の林業活動と ARD をモニタリングするシステムを開発した。四万十川森林計画区で検証を行い、D(森林減少)を抽出した。ただし、AR に関しては山岳域では個々の面積規模が非常に小さく、空中写真を含めてリモートセンシング手法では把握が容易でないことがわかった。

[キーワード] 京都議定書 3 条 3 項、ARD、時系列リモートセンシング、環境省植生図、空中写真

1. はじめに

1997 年に開催された国連気候変動枠組条約(UNFCCC)の第 3 回締約国会議(COP3)において、締約国は京都議定書に合意し、先進国における温室効果ガスの排出削減のための具体的数値目標を決めた。京都議定書では森林による温室効果ガス吸収量の算入が認められ、森林に関する活動は 3 条 3 項と 3 条 4 項で定義された。3 条 3 項では土地利用の変化を対象とし、新規植林(Afforestation)、再植林(Reforestation)、森林減少(Deforestation)が明記された(以下 ARD)。2001 年のマラケシュ合意(COP7)で森林の定義など具体的事項が決まったが、モニタリング手法は各国で策定となった。このため 1990 年以降、特に第一約束期間(2008-2012 年)における ARD モニタリングについて、透明かつ検証可能な手法の開発が求められている(1,2)。

ARD モニタリングの問題の所在を示すために、地図上で空間的に ARD をモニタリングする場合の理想形を提示し、次いで現実の手法のモニタリング可能範囲と問題点を指摘する。ARD モニタリングの理想形は、森林、農地、市街などの全土地利用図が GIS(地理情報システム)上で整備されており、5 年毎等の定期的に更新され、過去の情報も全て保存されている場合である(図-1 左)。この場合に、ARD は、5 年ごとの土地利用の変化を抽出することにより、容易にモニタリングできる。対して、現実的に ARD をモニタリングするために利用できるデータとして、環境省植生図、森林の現況を示した森林基本図、中解像度人工衛星画像(LANDSAT TM, SPOT)、空中写真(林野庁、国土地理院撮影分)などがあるが、その利点と問題点を表-1 にまとめた。それぞれのデータ単独では、広域での時系列全土地利用 GIS を構築できず、ARD モニタリングも困難であった。さらに、

モニタリング手法として、高解像度衛星画像(IKONOS, Quick Bird)の利用も考えられるので、中解像度人工衛星(LANDSAT 等)や空中写真とのコスト比較を表-2 に示した。なお、空中写真のオルソフォト化は、設備があれば密着空中写真購入と同程度のコストで作成できた。これらから判断して、将来的に流域スケール以上の広域で定期的に ARD モニタリングを実施するために、高解像度衛星画像は高価すぎるので、今回の検討からは除外した。

項目	特徴	問題点
* 土地利用図 森林基本図	詳細な森林資源情報である	計画策定時の情報しか持たない (過去の情報はほとんど無い)
環境省植生図	全土地利用を含み、全国分整備	1980年頃と情報が古い
* 中解像度衛星画像 (LANDSAT, ASTER)	3-5年に一度は観測 大きな変化を抽出できる 安価である	土地利用が分からない 伐採・造林とARDの区別が困難 細かな変化抽出は不得意
* 空中写真	土地利用をほぼ判読できる 過去から定期的に撮影 安価である	判読作業に大きな労力が必要
* 高解像度衛星画像 (IKONOS, Quick Bird)	土地利用をほぼ判読できる カラーで判読容易	非常に高価である 撮影依頼しないと画像が無い
* 地上調査	確実に判断できる	広域の調査は困難

手法	単価 [¥/km ²]	流域での価格 [¥/3000km ²]
高解像度衛星 (IKONOS 等)	¥8,000	¥2400万
空中写真 (林野庁、 国土地理院撮影分)	¥100	¥30万
中解像度衛星 (LANDSAT, ASTER)		¥2万

表-1. 既存の資料の特徴と問題点

表-2. 衛星画像と空中写真のコスト比較

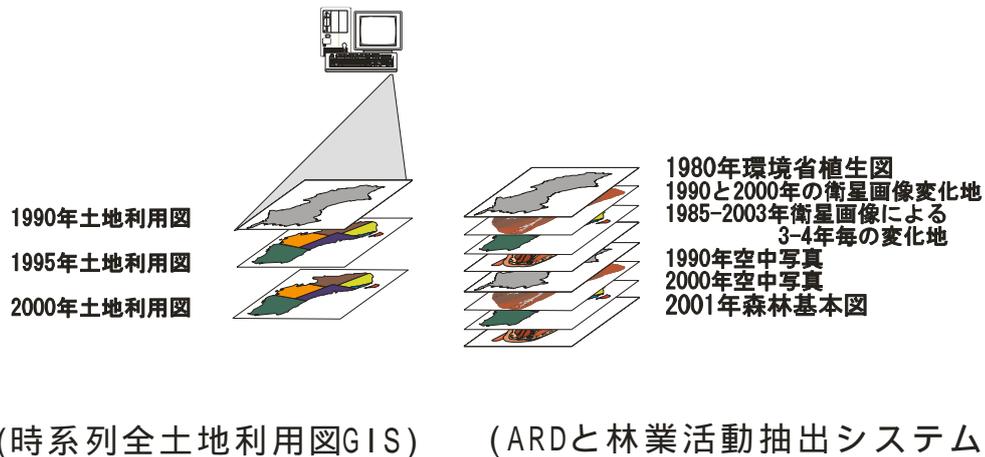


図-1. 時系列全土地利用図 GIS と既存の情報と時系列衛星画像をもちいた ARD と林業活動抽出システム

2. 研究目的

既存で入手容易な環境省植生図、森林基本図、時系列 LANDSAT TM、空中写真を組み合わせ、1) 1990-2000年のARDを抽出する手法と、2) 5年ごとの森林計画編成時にARDと伐採・造林などの林業活動をモニタリングする手法の開発を、本論の目的とした。

3. 研究方法

検討する範囲は、現実の森林計画編成にあわせて、流域スケールとした。対象は、高知県四万十川森林計画区とした。対象域は4市と13町村からなり、面積29.7万haであり、土地の85%を森林に覆われている。山岳地であり、林業が盛んであり、工業生産額は低く、都市化の進行などはほとんど無い。なお、土地利用変化であるARDは、これらの地域特性を強く反映していた。調査期間としては、開始年は京都議定書で決められた1990年とし、終了年は森林計画編成年と林

業や農業センサスの集計時を考慮して、今回は 2000 年頃とした。

開発したシステムの全体像を図-1 右に示した。土地利用図は、1980 年頃の土地利用図として環境省植生図を用い、2000 年頃の土地利用図として、2001 年の森林基本図を用いた。3-4 年ごとの時系列衛星画像を用いて、1990 年以降の土地利用の変化や伐採・造林などの林業活動による変化を抽出し、変化時期を明らかにした。抽出された変化地は、5 年ごとに撮影された空中写真を判読して、ARD という土地利用の変化、伐採・造林の林業活動、あるいは衛星画像解析の誤差と判別した。

データの詳細として 1 番目に、GIS データとして整備された環境省植生図を入手し、土地利用区分を森林、農耕地等の非森林、水域の 3 区分して用いた。2 番目に、国有林分の森林基本図と森林簿を四国森林管理局から入手して GIS 上に整備した。民有林分については、高知県森林局が整備した GIS データを用いた。3 番目に、空中写真は、林野庁と国土地理院撮影分について、1990 年頃と 2000 年頃に撮影されたものを入手した。四万十川上流部の梶原町については、全域でオルソフォトを作成した。それ以外は標定図を GIS 上で整備して、容易に空中写真と GIS とを対応付けられる体制とした。なお、量の問題から空中写真整備は 2 市 3 町村に限った。

4 番目に、LANDSAT TM 及び ETM 画像（高性能セマティングマッパー）から変化地を抽出した。撮影季節は、最も撮影回数の多かった春先の開葉前の 1-4 月上旬までとし、7 時期の画像（1985.04.09、1989.01.30、1992.03.11、1995.03.20、1997.03.09、2001.04.13、2003.03.02）を用いて、画像間から以下の方法により変化地を抽出した。1985 年の画像を地形図を参照して幾何補正を行い、この画像にあわせて他の画像の幾何補正を行い、四万十川流域が入る範囲について解像度 28.5m として、リサンプリングを行った。全ての画像を反射率に変換し、NDVI(正規化植生指数)を計算し、画像間の NDVI の差分画像を作成した。植生図を利用して水域と水田を除いて、空中写真を参照しつつ、差分画像から変化地の閾値を決定し、2 画像期間中のプラスの変化とマイナスの変化として、変化地抽出画像を作成した。変化地抽出画像にはホワイトノイズが多く含まれるので、大きさが 3x3 の Mode フィルタによりノイズを除去した。Mode フィルタを使用したために、5 画素(約 0.4ha)以上の変化地を解析対象とした。変化抽出の期間は、2 通りとした。まず、今回の調査対象期間である 1990 年と 2000 年近くの画像を組み合わせ、この期間中のプラスの変化とマイナスの変化を抽出した。また、7 画像の個々の差分画像から、3-4 年ごとの伐採などマイナスの変化時期を示した。

昨年までの検討から、衛星画像のみによる分析では、緑の増加は植生指数でプラスの変化となるが、これは AR(新規植林、再植林)と通常的林業活動での造林と区別するのが難しいことが判明している。また、緑の減少は植生指数でマイナスの変化となるが、D(森林減少)と林業での伐採を区別することは難しいことが判明している。このために、ARD と造林・伐採等の林業活動との区分には、植生図と森林基本図から判断し、空中写真を判読することとした。

4 . 結果・考察

4-1 1990 年から 2000 年にかけての ARD 抽出法

4-1-1 ARD 抽出法の概略 環境省植生図と森林基本図とを、単純に森林 - 非森林に 2 値化して場合分けを行い、衛星画像により抽出した変化地をあわせて、ARD 抽出する手法の概要を図-2 に示した。環境省植生図による 1980 年頃の森林 - 非森林を縦軸に、森林計画編成時の 2001 年の森林

- 非森林を横軸とする。2x2=4 通りに場合分けでき、1980 年から 2000 年まで、森林か非森林として変化が無い場所、あるいは変化した場所が抽出できる。しかし、これは 1980 年からの 20 年間の変化であるので、衛星画像により 2001 年と 1989 年とから変化地を抽出し、この期間に起こった変化のみを抽出する。なお、4-1 節では環境省植生図と森林基本図は、土地利用図としておおよそ正しいという仮定を置いている。

4-1-2 ARD 抽出の実際 この方法に従い、実際の作業には図-3 の画像を作成した。まず、環境省植生図を森林・非森林に分けて色分けした。さらに、植生図による森林 - 非森林と植生指数プラスの変化、マイナスの変化をクロスさせ 4 通りの場合分けして、色分けした。この上に、森林基本図の林小班界を重ね合わせた。これにより、植生図森林域での植生指数でのマイナスの変化、植生図非森林域でのプラスの変化を示し、現況での森林基本図との一致と不一致から、ARD を抽出できる。例として、図-3 の a 地点は、植生図で森林域であるが植生指数でマイナスの変化をしており、森林基本図から除外されており、D(森林減少)の可能性があった。また、時系列衛星画像解析から 1997 年から 2001 年の間に変化していた。そこで空中写真で判読した所、森林が整地されており D であった。

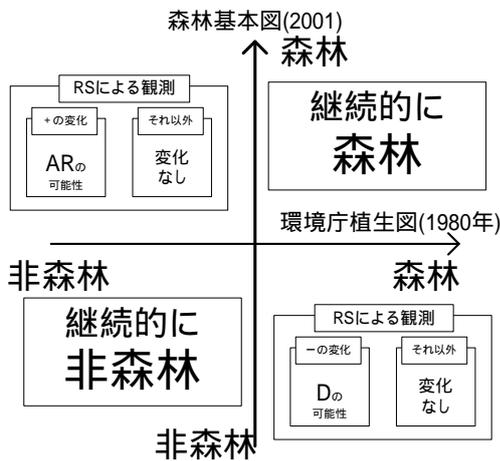


図-2. ARD 抽出法の概要

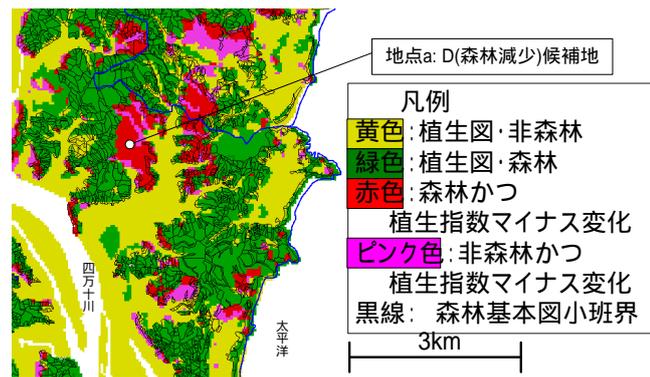


図-3. ARD 抽出例

以上の手法により変化地を抽出し、変化抽出地を空中写真で確認した。植生図・森林での植生指数によるプラスの変化、すなわち伐採・造林地は多く抽出できたが、対して AR はほとんど無かった。候補を数カ所見いだしたが、森林基本図による林齢と空中写真とを併せて、植生図・非森林に対して 1990 年以前に植栽され、成長によりプラスの変化となり抽出されたようだ。

4-1-3 ARD 抽出の精度と問題点 先ず D について、2000 年林業センサスによると、森林(林地)から他の土地利用への転用は、1990-1999 年度の 10 年間に 239ha であった。転用用途は、農用地、建物用地(工場、住宅、レジャー設備等)、公共用地(道路、ダムなど)、その他となる。今回の衛星画像による変化抽出では、中村市(建物用地、5ha)、三原村(建物用地 12ha)、土佐清水市(建物用地 25ha+10ha)などは、該当地と見られる場所を見だし、空中写真で確認した。このように塊状の変化地の抽出に衛星画像解析は有効と考えた。また、センサスには該当数値が出てこないが、林地からの農地開発も、大方町や大正町で抽出し、空中写真で確認した。しかし、林地転用の中で半分を占める公共用地(121ha)で特に道路は、衛星画像解析からは抽出が困難であった。これは

LANDSAT の解像度が 30m と粗く、道路のような細長い形状の変化地抽出に不適なためであった。道路変化抽出には時系列の空中写真を利用するか、道路台帳の整備が必要と考えた。

次いで、AR について今回のシステムでは、対象地域で AR は抽出できなかった。しかし、地域森林計画書では 1992-2001 年度間に農地等から 253ha が林地へ異動し地域森林計画にくみ込まれた(4)。また、1993-2001 年度に農地のうち 570ha が転用されたが、そのうち 177ha は新規植林であった(5)。

梶原町で農地転用で植林の届出のあった数箇所を、現地調査した。農地に植林してある場所の多くは、山奥の急傾斜地に段々畑状に開墾された狭い水田(千枚田)であった(図-4)。四国全域で、このような山奥での耕作放棄地への植林は多く見られ、拡大造林以降で一般的現象である。個々の面積は小さいが数が多いので、統計上では面積が大きくなる。

2000 年林業センサスによると、全森林面積 25.2 万 ha のうち 10 年生以下の森林は 1.3 万 ha あり、このような造林地が植生指数のプラスの変化地として多く抽出できた。これに対して、現実の AR は面積が小さいので衛星画像解析では抽出が困難であり、また空中写真でも樹冠が大きくなり判読できるまで植栽から数年を要するためタイムラグがあり、把握が困難であった。このため、日本の山岳地では、農地から森林への転用の把握は届出などの行政情報による方法が適切と考えた。



図-4. 千枚田への植林

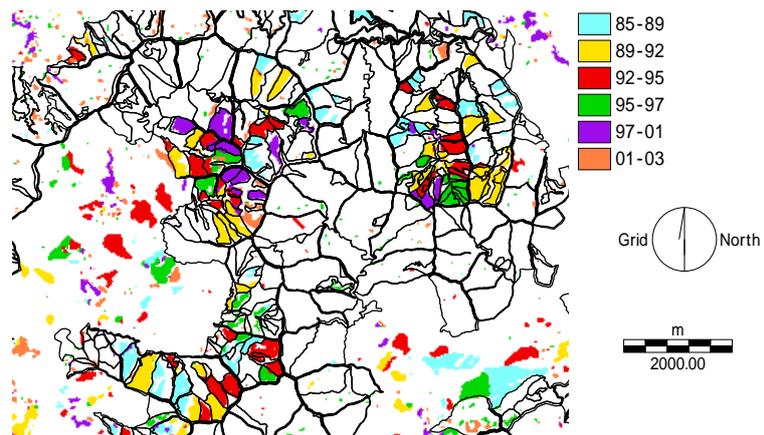


図-5. 7 時期衛星画像解析による伐採年
(色：それぞれの伐採年、黒線：国有林林小班界)

4-2 森林計画編成時の林業活動と ARD の抽出法

従来の民有林に関する森林計画は、造林・伐採の届出をもとに、森林簿と森林基本図を修正し、届出の遺漏に関しては空中写真を判読し、森林基本図に反映させてきた。これらは全て手作業であり、紙上では各資料の突き合わせ等も大きな作業量となった。今回開発した図-1 右のシステムは、今後の森林計画編成時における、林業活動と ARD の抽出作業の省力化に大きく役立つ。手順として、届出を反映した森林基本図から林齢別に表示し、一方で、衛星画像により抽出した変化地を表示する(図-5)。それぞれを照合して、変化が起こった場所を空中写真かオルソフォトで確認していく。

GIS を中心に時系列衛星画像と各資料を有機的に連携していくことにより、林業活動と ARD の

モニタリング精度が、これまで以上に向上することが期待できる。

5 . 本研究により得られた成果

京都議定書 3 条 3 項に規定された新規植林、再植林、森林減少(ARD)を、環境省植生図、森林基本図、時系列人工衛星リモートセンシング、空中写真を利用して、抽出するアルゴリズムを開発した。

6 . 引用文献

- (1) 林野庁(2002)地球温暖化防止に向けた森林吸収源対策について，林野時報，575, 4-13.
- (2) UNFCCC(2002) Decision 11/CP.7 Land use, land-use change and forestry. Web<<http://unfccc.int/resource/docs/cop7/13a01.pdf>> .
- (3) 農林水産省統計情報部(1991,2002) 世界農林業センサス林業編、農林統計協会.
- (4) 高知県森林局(1992,1997,2002)四万十川流域地域森林計画書、高知県農林水産部森林局.
- (5) 高知県農林水産部農業政策課(1994-2003)高知県における農地の動き、高知県農林水産部農業政策課.

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表

沢田治雄、澤田義人：環境情報科学論文集、16、181-186 (2002)

「高頻度観測衛星データに基づく植生季節変化のモデル化」

Anazawa M., Saito G., Sawada Y., Sawada H. : Asian Journal of Geoinformatics, 3(1), 55-62 (2002)

“Utilization of Leaf Water Content Index for Selected Terrestrial Ecosystem Monitoring using SPOT Vegetation Data”

Sawada, H., Y. Sawada, N. Nagatani, M. Anazawa : Forest Cover Assessment in Asia, IIRS, 101-109 (2002)

“Phenology Analysis using Remote Sensing”

沢田治雄：環境情報科学論文集、17、71-76 (2003)

「衛星積雪指標による 10 日間隔の全国積雪分布図」.

(2) 口頭発表

小谷英司、松英恵吾、平田泰雅、松村直人：第 52 回日本林学会関西支部大会 (2001)

「時系列人工衛星画像解析による流域スケールでの伐採動向の把握」

小谷英司：森林資源管理と数理モデル第 2 回シンポジウム (2002)

「時系列衛星画像と GIS による森林の保続について」

小谷英司、松英恵吾、平田泰雅、都築伸行：第 113 回日本林学会大会(2002)

「時系列人工衛星画像解析による流域スケールでの伐採動向の把握 (II) -伐採要因分析-」

小谷英司、沢田治雄、宝大作、三宮奈津：第 114 回日本林学会大会(2002)

「多時期時系列人工衛星画像による京都議定書 3 条 3 項の新規植林 ,再植林 ,森林減少(ARD)の抽出法の検討」

Sawada, H., Sawada Y. and N. Mitsuzuka : International Workshop on Monitoring and Modeling ob

Global Environmental Changes , ISPRS(2003)

“A time-series model using the Kalman filter to satellite data for global change monitoring”

沢田治雄：森林資源管理と数理モデル第4回シンポジウム(2004)

「高頻度観測衛星データによる地表の季節変化モデル生成」

(3) 出願特許 なし

(4) 受賞等 なし

(5) 一般への公表・報道等

沢田治雄(2003) 森林分野における最近のリモートセンシング研究, 山林(大日本山林会), 1427:64-74.

沢田治雄(2003) 地球観測衛星画像用「雲取りフィルタ技術」, 画像ラボ(日本工業出版), 14(6):71-74.

(6) その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について

今後、さらに検討結果を論文で公表し、日本国内でのARD観測法の策定に資する。