

衛星リモートセンシングによる二酸化炭素吸収源評価法の開発

研究期間（平成11年度～14年度）

大久保彰人*, 高木潤治**, 田村正行***

要 旨

森林による二酸化炭素（CO₂）の吸収量を推定することは、自治体の地域温暖化対策計画を支援することにつながる。そして、温暖化防止京都会議以降、CO₂の排出削減目標に対して、森林のCO₂吸収源としての取り扱いが課題となっている。人工衛星から観測された地球観測情報を用いれば、森林の面的な分布や変化が分かるので、CO₂吸収量推定のための有効な手段であると期待されている。

ところで、ランドサット衛星のような可視近赤外のセンサでは、地表面を直下に観測しているので、樹木の幹、枝及び葉に係る体積的な情報が得られない。そこで、本研究の当初には、まずマイクロ波の合成開口レーダを利用して、森林内の断面の把握ができないかという検討も行った。

しかし、レーダ画像の解析は煩雑であり、県域全体の大容量の情報処理は困難なので、本研究の成果としては、ランドサット衛星の可視近赤外の情報を活用する実用的なCO₂吸収量推定の手法を提案した。そして、京都議定書の運用ルールとは異なるが、県域全体での森林吸収源によるCO₂固定の総量を算出すると、370万トン（二酸化炭素換算）程度になると推定された。

〔キーワード：リモートセンシング、吸収源、地球温暖化〕

1 はじめに

二酸化炭素などの温室効果ガスによる地球温暖化は、化石燃料の消費など、人間の諸活動が原因であり、解決の難しい環境問題である。しかし、地球温暖化は、最近では社会的にも広く認識されて、温暖化の原因となるCO₂削減が国際的にも取り組まれている。ところで、森林や海洋のような二酸化炭素をそのなかに固定するものがあり、「吸収源(sink)」と呼ばれる。新規の植林などにより、森林植生によるCO₂の吸収量（純1次生産量）が増えれば、削減効果がある。

1997年12月に京都で行われた「気候変動枠組み条約」の第3回締約国会議（温暖化防止京都会議、COP3）において、温室効果ガスの排出削減目標を取り決めた「京都議定書」が採択された。しかし、議定書の発効については、森林によるCO₂の吸収を、どの程度認めるかは主要な問題の1つとなっている。

そこで、本研究課題では、広域の一律なデータが得られる衛星リモートセンシングデータを利用して、福岡県域の吸収量を算定するための基礎的な推定を行った。ただし、本研究では、当初、全天候型のレーダデータを用

いた解析も考慮の範囲としたので、その解析を述べたあと、本研究の成果として、実用的な推定方法の提案について述べる。

2 森林の体積を考慮するための検討

本研究の当初には、マイクロ波の合成開口レーダのデータを用いて、森林植生の体積的な情報が得られないかという目的で研究を行った。

ところで、ランドサット衛星に搭載されている可視・近赤外放射計では、人工衛星から直下に地球表面を観測している。森林の観測も真上からであり、樹冠の部分についてその反射を計測している。しかし、森林の内部にありCO₂を固定している幹、枝および葉についての情報は、ランドサット衛星による観測では把握できない。そこで、森林の内部にも透過して、その散乱の情報から、森林の体積に関する情報を得ることを目指してレーダデータの解析を行った。

具体的には、JERS-1衛星（日本）の合成開口レーダのデータを使って、森林の活力度を示す植生指標の変化を検出してみた^{1) 2)}。

*福岡県保健環境研究所（〒818-0135 福岡県太宰府市大字向佐野39）

**福岡県森林林業技術センター（〒839-0827 福岡県久留米市山本町豊田1438□2）

***独立行政法人・国立環境研究所（〒305-0053 茨城県つくば市小野川16-2）

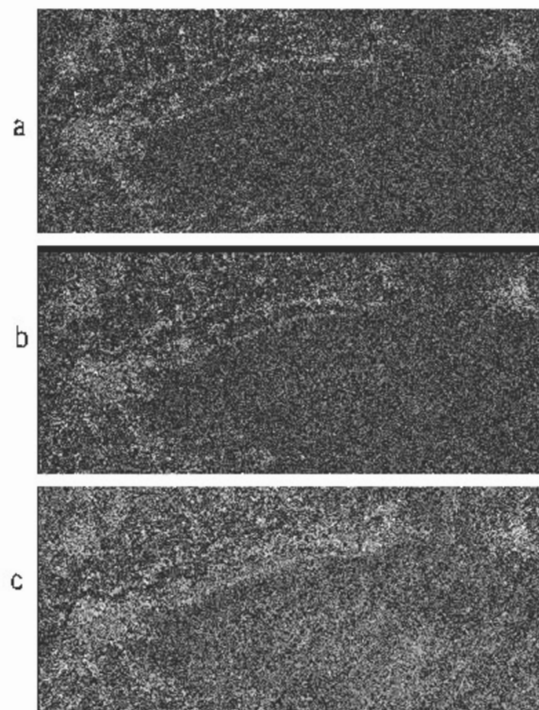


図1 コヒーレンスの大小に対応した画像
(久留米市から日田市にいたる地域で中央に耳納山地。
a:1998年8月12日と1995年8月8日, b:1998年8月12日と
1998年1月4日, c:1998年8月12日と1998年9月25日)

JERS-1衛星 SAR のレベル0のデータを解析に用いて、複素画像及び実画像を生成した。まず、実画像は、衛星から照射したマイクロ波の散乱強度を表した画像である。レーダの後方散乱のメカニズムを要約すると、夏に樹冠が発達すると、Lバンドの透過率が減少して散乱強度は弱くなり、冬には、多重散乱や地表からの散乱成分も増して、後方散乱が強くなる。このメカニズムに対応した画像が得られるので、実画像から植生変化の概要情報が得られる。

次に、SAR 複素画像の位相情報を利用したコヒーレンス解析について述べる。コヒーレンス (γ) は、2枚の複素画像の組に対して、その小領域 (たとえば、5×5ピクセル) において相関をとったものであり、その値を0から255にスケールして画像化することができる。 γ は、2つの複素画像において、それらの振幅と位相が類似しているかどうかを示す指標であり、1に近い (類似している) ほど、(255に近い) 明るい画素値となる。図1に示すコヒーレンス画像において、cの1998年8月12日と1998年9月25日という1ヶ月ほどしか時期の変わらない画像 (軌道間距離307m) においては、画像全体にコヒーレンスが高く、それらの時期の間では、地表面に変化が少ないことを示している。それに比べてaの1998年8月12日と1995年8月8日の場合 (軌道間距離165m) には、

森林域がcの場合と比べて暗く、経年変化によるコヒーレンスの低下を表していると思われた。また、bの1998年8月12日と1998年1月4日の場合 (軌道間距離496m)、季節変化によるコヒーレンスの低下が現れていると思われた。

一方、同じ範囲のランドサット衛星 TM センサの画像を用いて、植生指標 (NVI, 範囲を0から255とした) を計算して、コヒーレンスから検出した季節変化、経年変化との対応を調べてみた (表1)。コヒーレンスからみて季節変化を示している画素は、それらと同じ位置の NVI 平均でみると、経年変化の画素と比べて、1991年12月4日で少し低くなっていた。

表1 コヒーレンスによる NVI 変動

変化	1988年4月15日	1991年12月4日	1998年4月27日
季節	170.65	145.79	165.73
経年	170.48	146.10	165.71
両方	171.27	146.47	165.76
その他	167.59	144.30	163.17

以上のように、JERS-1/SAR のデータから、後方散乱も含めて、そのメカニズムに対応した植生指標の変動を傾向としてとらえることはできた。

以上の解析のほかに、森林の樹高測定をめざして、SAR インターフェロメトリの技法も検討した。人工衛星の合成開口レーダSARから発射される電磁波の位相がきれいにそろっているという性質 (コヒーレント性) を利用するものである。2つのSARデータの位相情報を利用して標高を求めることができるが、実用的に十分な精度は難しい。これと原理的に同じ方法だが異なる波長帯を用い、フィールドにおいて、レーザスキャナーによる樹高とか森林のバイオマスの測定といった研究も行われている。

しかし、以上のようなレーダ画像では雲があっても観測可能であるという利点の反面、観測域が狭く (80km四方程度)、県全域の処理はたいへん煩雑でかつ精度も実用的でないので、次に述べる可視・近赤外放射計の解析に切り替えた。

3 原単位を用いた実用的な手法の提案

広域の森林シンクを評価するために、生態系モデルのなかに、衛星リモートセンシング情報を取り入れて、純1次生産量を推定することが行われている。この方法では、毎日の画像情報が必要であり、観測の刈り幅が広くかつ観測回数の多いNOAA衛星 (2機運用で4回/日の観測)

のAVHRRセンサのデータなどにより、年間の植生のダイナミックな変化が取り扱われている。地域においては、NOAA衛星の解像度では粗く、解像度の面からも、ランドサット衛星TMのデータを使う方法を考えるのが妥当であると思われる。

そこで、衛星データを用いて、福岡県域の森林植生等が二酸化炭素を吸収する量を求めることが目的である。観測範囲の広いランドサット衛星（16 日周期）のデータを使って、土地被覆分類図³⁾（植生別を含む）を作って植生別の面積を求めて、それに植生別の二酸化炭素の吸収量（年間、単位面積あたり）を乗じて、福岡県全域における二酸化炭素吸収総量を計算するという手順の提案を行った^{4) 5)}。

具体的には、人工衛星の観測データから土地被覆分類図（図2）を作るとき、画像データを植生別（針葉樹、広葉樹など）に分けておく。そして、すでに明らかにされた人工林・天然林別、常緑樹・落葉樹別の年間吸収量の原単位を、土地被覆分類図に照合対応させて、二酸化炭素吸収総量を算定する。なお、吸収量の原単位（年間、単位面積あたり）は、植生区分別に文献⁶⁾に与えられた数値を用いた。

ところで、人工林と天然林の区別かつ常緑樹と落葉樹の区別は、衛星データからは不可能であったので、農林業センサス及び自然環境保全基礎調査による各区分の面積割合から、樹林種別面積を計算した。それらの割合に応じて、土地被覆分類における針葉樹林と広葉樹林の年間吸収量の換算値を按分して求めた。

表2 植生区分及び土地被覆に対応する生産量

植生区分	年間吸収量(t/ha・年)	土地被覆	換算値
田・特殊田	11	田	11
普通畑	12	畑	12
樹園地	10	低木・果樹	10
牧草地	8	草地	8
針葉樹林（人工林）	14	針葉樹林	13.877
針葉樹林（天然林）	11		
常緑広葉樹林	20		
落葉広葉樹林	9	広葉樹林	16.755
—	—		
—	—	混交樹林	14.65
竹林	10	—	—
草生地等	8	—	—
都市公園	5	—	—

1997 年の衛星データでカバーできる県域の 4299km²（県域の 86%）について、土地被覆分類図（図2）を作り、二酸化炭素吸収量（呼吸消費を除く）の総和を計算すると、約 446 万トンとおおよそ試算できた（図3）。

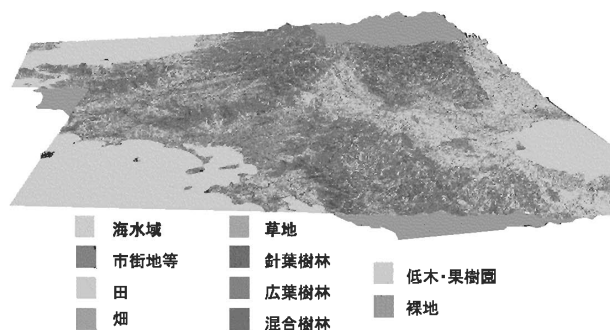


図2 土地被覆分類図

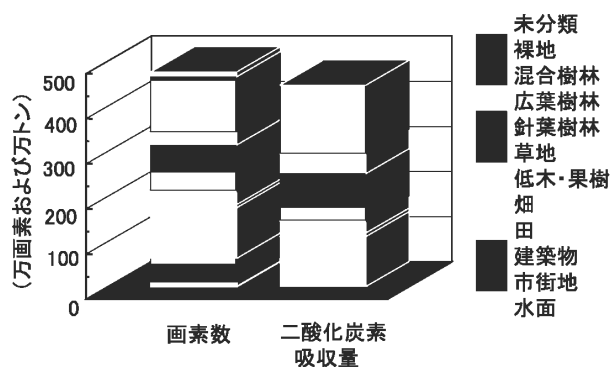


図3 二酸化炭素吸収量の算定

この数値は、即時性、客観性および一様性という衛星データの特徴を活かした評価であり、独立行政法人農業環境技術研究所の清野ら⁷⁾が、気象データと統計資料からなるモデルにおいて、福岡県の値と推定した 490 万トンにも近い値であった。そのなかで、森林は陸域における吸収源全体の約 60%にあたる約 270 万トンを占めていると算定できた。

4 その他の試算結果

衛星データによる分類では、トレーニングデータの取得、データの前処理及び用いる分類手法の選択によって、分類の結果に変動が生じてくる。もちろん、気象条件によって衛星からの観測状況も異なるし、季節の違いもあって、常に一定の安定した分類結果を得ることは難しい。そこで、1997 年の分類結果のほかに、最近のランドサット衛星のデータを用いた分類及び衛星データ以外の地理情報による計算も行ってみた。

Landsat-5衛星 TM センサで2001年4月19日に観測されたデータを、熱赤外バンドをのぞく6バンドの最尤法で分類すると（表3）、森林（針葉、広葉及び混交樹林）による吸収量は、374万トンあまりと計算できた。また、地理情報として、国土数値情報の1/10細分土地利用図を用いて計算すると（表4）、その森林（混交樹林として算定）による吸収量は、360万トン程度と計算された。

表3 最近の衛星データ*を用いた生産量推定

クラス	画素数	面積 (ha)	年間吸収量 (t)
田	13339933	105847	1270169.4
畑	562185	44608	497501.2
果樹園	171055	13573	135725.7
草地	73573	5838	46701.9
森林	3170857	251595	3746160.2
その他	949506	75339	0.0

*Landsat-5衛星の2001年4月19日観測。

表4 1/10細分土地利用図を用いた生産量推定

クラス	画素数	面積 (ha)	年間吸収量 (t)
田	65286	106903	1175930.0
畑	4537	7429	89149.5
果樹園	12257	20070	200702.6
樹木	2533	4148	41476.7
森林	150221	245980	3603604.7
その他	68564	112271	0.0

5 まとめ

森林などによる二酸化炭素の吸収量算出を、衛星データによる新しい土地被覆情報を使うとともに、文献の実験値を活用した受け容れやすい方法で求めた。

福岡県が報告している二酸化炭素排出量の推計値によれば、1990年には5397.05万トン（二酸化炭素換算・年で以下も同様）の排出量があった。1997年のデータを用いて計算した森林吸収の総量は、県域の86%の部分で約270万トンであり、その他の県域14%の部分では森林の割合が多く（それがすべて森林であれば約100万トン程度だが）、その他の試算結果よりやや少ない程度になると算定された。以上から、森林植生による吸収量総量としてはほぼ370万トン程度であると計算された。

ただし、「新規植林や再植林によって造成された森林の吸収量」から「伐採などの森林減少」を差し引くなど、京都議定書の運用ルールにしたがって、排出量への森林吸収の寄与を求めることが課題である。

6 行政的意義、貢献

京都議定書の数値目標によれば、日本は温室効果ガスの排出を、2008～2012年には1990年と比べて6%削減せねばならない。それに準じて、福岡県においても、「地球温暖化対策の推進に関する法律」に基づいた施策を進めている。省エネ推進などによる削減に加えて、森林への吸収分も、数値目標達成に対して、準備されるべき重要な数値である。福岡県の地域温暖化対策の実行計画のなかで、京都議定書の森林吸収に対する運用ルールも加味して、2008～2012年の約束期間にむけて、必要な算定要求に応えるものと思われる。

なお、九州航空宇宙開発推進協議会（事務局：九州・山口経済連合会）において実施された環有明海衛星ウォッチングプラン研究会・報告書「衛星リモートセンシング技術の環境・林業・水産業・農業への実利用にむけて」（平成14年7月、63頁）⁴⁾がとりまとめられたが、その報告書のなかでも、当該研究成果を記述した。

文 献

- 1) 大久保彰人, 山之口勤, 田村正行: "多時期 SAR データによる植生指標変化の検出", 日本リモートセンシング学会第29回学術講演会論文集, pp. 69-72, 2000.
- 2) 大久保彰人: "地球観測衛星データの環境分野における利用ー地域スケールの衛星リモートセンシングー", 環境管理, 第30号, pp. 34-43, 2002.
- 3) 大久保彰人, 山崎正敏, 武末保彦, 原政直, 関口芳浩, 寺田弘慈: 自治体での利用をめざした地域レベルのリモートセンシング", 日本リモートセンシング学会誌, 19-4, pp. 71-76, 1999.
- 4) 九州航空宇宙開発推進協議会, "衛星リモートセンシング技術の環境・林業・水産業・農業への実利用にむけて", 環有明海衛星ウォッチングプラン研究会報告書, 63p, 2002.
- 5) 大久保彰人, "福岡県域における衛星データ解析", 平成14年度 RESTEC 衛星リモートセンシングフォーラム in 九州, 福岡市, 2003.
- 6) 戸塚積, 三宅博, "緑地の大気浄化機能", 大気汚染学会誌, 26(4), pp. A71-A80, 1991.
- 7) 清野豁, 内嶋善兵衛, "自然植生の純1次生産力の農業気候学的評価", 農業気象, 41(2), pp. 139-144, 1985.