

人工衛星データを用いた環境モニタリング ～解析事例：竹林の分布状況調査～



奈良女子大学研究院 自然科学系 環境科学領域 教授 村松加奈子氏

2015年9月の国連サミットで全会一致で採択されたSDGs (Sustainable Development Goals : 持続可能な開発目標) は、「誰一人取り残さない」持続可能で多様性と包摂性のある社会の実現のため、2030年を年限とする17のゴール（目標）とその下に連なる169のターゲットから構成されています。

このSDGsへの対応を考えるために、奈良女子大学の様々な研究領域の教員の方々から研究内容の紹介や提言を頂く寄稿シリーズの第6回目です（全10回連載）。

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



1 はじめに

地球環境観測を目的とした人工衛星の利用は、1972年にアメリカによって打ち上げられたラントサットLandsat衛星により始まりました。Landsat衛星のプロジェクトは現在にも引き継がれています（2021年3月には、Landsat衛星9号が打ち上げ予定です）。その後、ヨーロッパや日本でも地球観測衛星が打ち上げられ、多くの観測データが蓄積されています。これらを利用して植生の分布や、土地被覆について現在と1970年代からどのように変わってきたのかなどを調べることができます。

私の研究室ではこれまで、人工衛星データを用いて全地球と地域の環境モニタリングの方法の開発とその手法を用いた解析を行ってきました。その中で、日本の宇宙航空研究開発機構（JAXA）が打ち上げた衛星「だいち」で観測されたデータを用いて、奈良県と京都府南部の竹林分布について調べた結果について^[1]、報告いたします。

2 衛星「だいち」

「だいち」は、2006年1月24日にJAXAが打ち上げた衛星^[2]で、名前の通り大地の環境観測、地図作成、災害状況の把握を目的として設計

されたものです。「だいち」には3つのセンサが搭載されました。一つは地形を立体的に可視域の波長帯で観測する機能をもった空間分解能2.5mのPRISMセンサ、2つ目は、青、緑、赤、近赤外の波長帯を観測する空間分解能10-15mのAVNIR-2センサ、3つ目は電子レンジにも使用されている波長帯であるマイクロ波を放射して、地表面で反射した電波を受信するPALSARセンサです。

3年以上5年の目標寿命で設計されたもので、打ち上げ以降たいへん調子よく高品質のデータを取得しており、我々データの利用者も寿命を越えての観測に期待していました。2011年3月11日の東北大震災では、緊急に観測軌道を修正して観測し、被害状況の把握にそのデータが利用されました。

しかし残念ながら2011年4月22日に電力異常が発生し、衛星との交信を試みたそうですが、交信が不可能と判断し5月12日に運用を停止しました。「だいち」はその後、2014年に合成開口レーダを搭載した「だいち2号」が打ち上げられ、可視から近赤外の波長帯のセンサを搭載する「だいち3号」は、2021年度に打ち上げ予定です。

私の研究室では可視～近赤外の波長帯の観測データを主に用いて研究を行ってきているので、「だ

いち3号」が無事打ち上げられ、順調に高品質のデータが取得できることを祈っています。

3 竹葉の分光反射率の季節変化と特徴抽出の方法

さて、日本ではタケノコや竹材生産のためにマツ林や雑木林が竹林に転用されてきましたが、近年では竹材が使われなくなり、手入れの行き届かない竹林が多く見られるようになりました。特に竹は地下茎により繁殖し成長が早く、他の既存樹林に侵食するため生態系の破壊などを引き起こします^[3]。

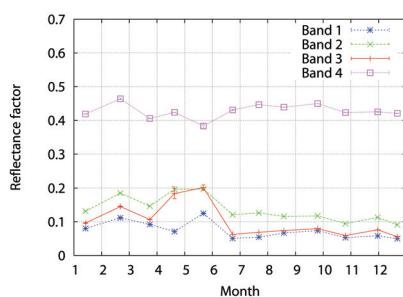
近鉄電車で奈良から京都に移動する際、山沿いを眺めていると、森林内に竹林が多く見られます。鳥居等の研究では、地形図や航空写真を用いて京都南部の竹林の分布^[4]やその拡大速度を調査^[5]した結果を報告しています。「だいち」衛星のAVNIR-2センサは、航空写真ほど詳細には現場は見えないものの可視から近赤外の波長帯で10-15mと比較的よい空間分解能で地上を観測する

ので、私の研究室では、竹林の分布がAVNIR-2センサでも把握できるのではないかと考え解析を始めました。

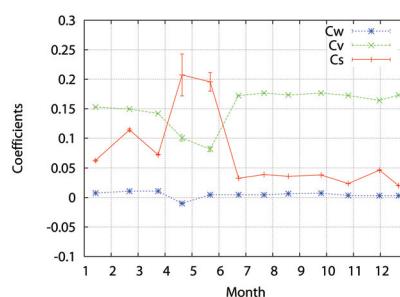
まず、可視から近赤外の波長帯で竹林を判別するため、竹の葉の分光反射率（ある物質に光を照射したときの波長ごとの反射率のこと）がどのような季節変化をするのかを調べました。図1は、モウソウチクの葉をサンプリングし実験室で分光反射率を測定した結果です。1月から3月まで図1のピンクで示した、近赤外の波長帯の反射率（Band 4）では、1年間を通して反射率の変化が少なく、緑と赤で示した、緑の波長帯の反射率（Band 2）と、赤の波長帯の反射率（Band 3）が共に、特に4月中旬から5月下旬に値が高くなる傾向にありました。この時期は葉が古葉から新葉へと変わる時期で、採取した葉も黄色の葉が多く、分光反射率からも葉の色の変化が読み取れます。1月から3月にかけては可視域（Band 1~3）の

(図1) モウソウチクの葉の季節変化

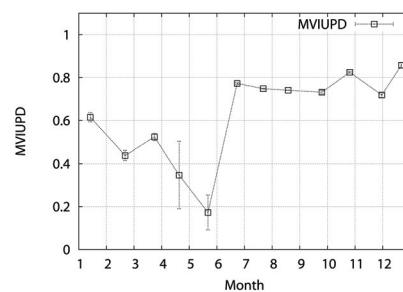
(a)



(b)



(c)



(注) (a) 分光反射率、(b) UPDM の展開係数、(c) 植生指標 MVIUPD [1]

波長帯での反射率が、7月以降に比べて高い傾向にありました。この時期の葉は濃緑色でかりがあったため可視域で全体的に反射率が高くなつたと考えられます。7月以降は、可視域では緑の反射が強く観測されました。

分光反射率のデータを、我々の研究室で開発した多波長データを解析するための「ユニバーサルパターン展開法（UPDM）」を適用した結果を図1 (b) に、UPDMで得られた係数から定義した「植生指標（MVIUPD）」を計算した結果を図1 (c) に示します。UPDMは、衛星で観測されたn個の波長帯の反射率 (R_1, R_2, \dots, R_n) を、水 (P_{wi})、植生 (P_{vi})、土壤 (P_{si}) の3つの基本パターンの値と、その3つの展開係数 (C_w, C_v, C_s) を用いて以下の式の通りに表す解析方法です。

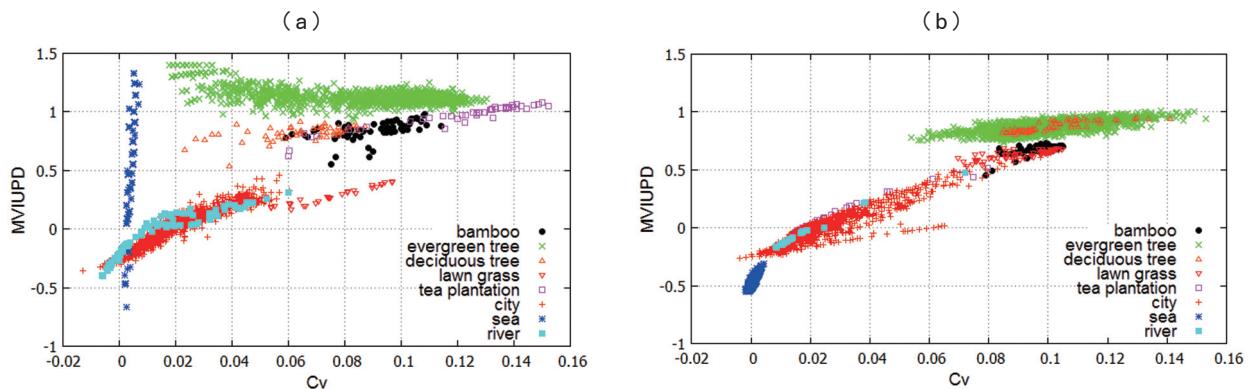
$$R_i \sim C_w P_{wi} + C_v P_{vi} + C_s P_{si}, \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

AVNIR-2センサの場合は、n=4となり、例えば植生域では、 C_v は値をもちますが C_w と C_s の値はほぼゼロとなります。

そして UPDM の3つの展開係数を用いて、植生指標 MVIUPD を以下の式の通り定義しました。

$$MVIUPD = \frac{C_v - C_w - 0.2 \times C_s}{C_w + C_v + C_s}$$

(図2) 植生の展開係数 C_v と植生指標 MVIUPD の散布図



(注) (a) 2010年1月27日観測のデータ、(b) 2010年5月21日観測のデータ [1]

図1 (b) と (c) では、竹葉が黄色化する時期に C_v の値は下がり、 C_s の値は高くなり、植生指標の値は下がり、反射率だけでみると、季節変化の把握が容易になります。

以上より、展開係数と植生指標を用いて竹林を判別する条件を決めることにしました。

4 竹林の判別条件

衛星データから竹林を判別する場合、竹林は冬には落葉しないため、他の常緑植生と区別するには4月中旬から5月下旬の竹葉が黄色化する特徴を利用すること、また落葉植生と区別するために、冬のデータを利用することとしました。そこで、AVNIR-2センサが観測したデータのうち雲が少ないデータを選び、2010年1月27日と5月21日に観測されたデータを使用しました。

AVNIR-2のデータで竹林を判別する条件を決めるために、2010年1月27日と5月21日のデータから竹林、常緑樹、落葉樹、芝地、市街域、海、川からサンプルを取得し、 C_v と MVIUPD の散布図を作成しました。その結果を図2に示します。図2中の●の竹林は、1月(図2(a))と、5月(図2(b))のデータとともに、 C_v と MVIUPD の緩やかな曲線上に分布しています。図2(a)では、

一部落葉樹 (\triangle deciduous tree) と重なっていますが、図2 (b) では、落葉樹 (\triangle) と竹林 (●) は重なっていません。一方、図2 (b) では、竹林 (●) と芝地 (∇) は重なっていますが、図2 (a) では、草地は MVIUPD の値が竹林より低いところに分布しています。

以上より、 C_v と MVIUPD の散布図から、竹林の C_v と MVIUPD の関係を、1月と5月それぞれ

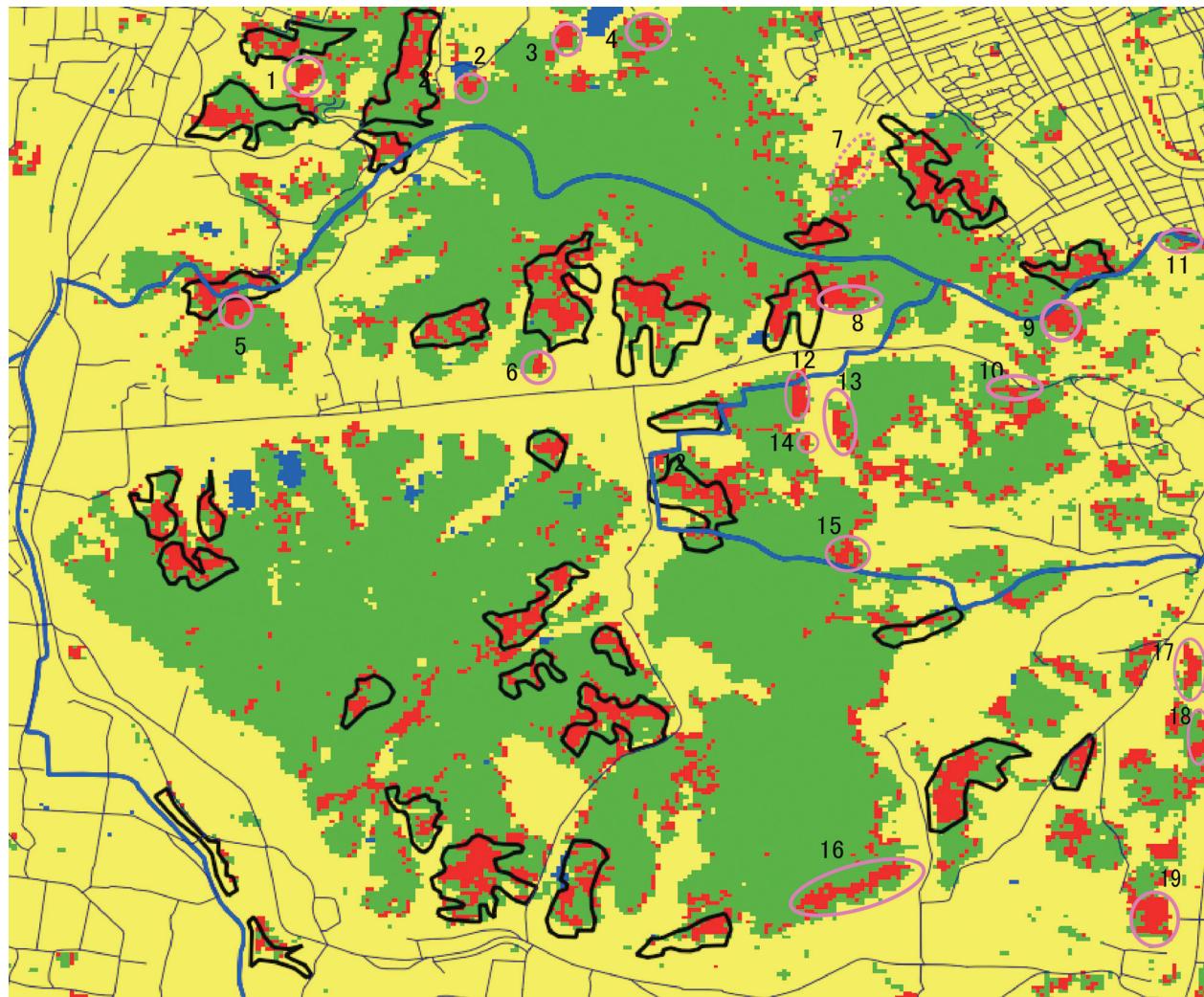
$$MVIUPD = a \times \log_e(C_v) + b$$

の曲線にフィッティングし、 3σ (フィッティング時の標準偏差) の範囲内のものを竹林候補として抽出しました。これらの候補のデータの中に他の植生等が含まれる可能性もあり、それらに関しては、どのような植生が含まれるかを詳細に調べてそれらを排除する条件を設定しました。

5 竹林の分布図作成と検証

前節で述べた方法で、竹林を京都府南部、奈良県の領域において抽出しました。分類結果を確か

(図3) 竹林の抽出結果と植生図との比較



(注) 衛星データで竹林と判別されたものを赤、植生と判別されたものを緑、水域と判別されたものを青色、その他を黄色で示す。植生図で竹林と区分されている領域を黒線で示す。[1]

めるために、現地調査により竹林、竹林以外の植生、市街域や水域で緯度経度を測り、参照データを作成しました。参照データで竹林でありかつ本解析で竹林と判別される割合は70%でした。参照データの竹林を竹林以外に判別してしまった場所は、竹が疎に生息している竹林や、竹林が細長く分布している場所でした。一方、参照データでは竹林以外の植生なのに本解析で竹林と誤判別した場所は、竹の葉の色に近い薄い緑色の葉を持つ植生や混交林でした。

自分たちで作成した参照データの他に、環境省が植生調査を行なっておりそのデータが公開されていますので^[6]、このデータとも比較を行いました。その一例を図3（前頁）に示します。図3では、衛星データで竹林と判別された場所を赤色で示しています。また、植生調査データで竹林と区分されている領域を黒線で囲っています。植生調査データと衛星データの解析結果が異なる場所は現地に赴いて竹林があるのかないのかを調べました。

ピンク色の実線の領域（1～6、8～19）は、衛

星データで竹林と判別され、かつ現地調査でも竹林であった場所です。ピンク色の破線の領域7は、衛星データでは竹林と判別されました BUT 現地調査では混交林に竹林がパッチ状に分布していた場所です。その他の場所でも同様に植生図との比較を行なった結果、一部誤判別があるものの、植生図で竹林と登録されている区域は、衛星データでも竹林と判別した場所が多く、植生図で竹林と登録されていない区域で実際は竹林となっている場所を、衛星データからは多く抽出することができました。衛星データで竹林と誤判定した場所には、落葉広葉樹やアカマツの混交林、あるいはアカマツ林などがありました。

AVNIR-2 センサのデータでは可視から近赤外の波長帯での分光反射率を観測しており、分光反射率の季節変化が竹林と類似している場合は誤判別となります。しかしながら衛星データは広い領域を定期的に観測しているため、竹林の候補区域を抽出することができ、その候補区域を集中的に調査することにより、竹林の詳細な分布図を作成する際の労力を軽減できると考えています。

(図4) バングラデシュ チッタゴンにて

(a)



(b)



(注) (a) 竹材屋、(b) 建築現場での竹材の利用

6 まとめにかえて

衛星データから竹林を判別する研究を行なってから、行く先々で竹林が気になります。日本ではあまり多く利用されなくなった竹材ですが、アジアの国では竹材が利用されている風景をみかけます。奈良女子大学の国際交流の提携校であるバングラデシュのチッタゴン大学を訪ねた時、大学へ向かう道中、図4の(a)の写真の様な竹材が売られている店が多くあり、建物を立てる途中の足場や仮柱にも使われていました(b)。日本でも昔は、近所に竹材を図4(a)の写真のように売っている店や、青竹売りの車が走っていたことなどを思い出しました。

チッタゴン大学の共同研究者にバングラデシュではどのようなところに竹を使うかと聞いたところ、足場や仮柱、柵以外にも、山間民族では家の建材として使用するし、死者の埋葬時にも使用することでした。チッタゴン市内で、竹が生えている場所には切り株もあり、常に切りながら利用している様子が伺えました。

わが国では放置竹林や拡大竹林の管理方法や竹材の利用方法^[7]などの研究も行われています。これらの研究は、SDGsの17のゴール（169のターゲット）のうち、15.4の「生物多様性を含む山地生態系を保全する」と関連があります。竹材などの里山からの産物の有効利用は、里山の健全な管理や、里山の生態系の保全のために重要ですが、それと同時に自然の恵みを肌で感じることができ、心豊かな“くらし”にもつながっていきます。今後の竹材の有効利用にむけて、竹林の分布図や、竹材のバイオマス量推定に衛星データが威力を発揮できるよう研究を進めていきたいと考えています。

【参考文献】

- [1] 花木なるみ、村松加奈子、落合史生、曾山典子、醍醐元正、田殿武雄：ALOS/AVNIR-2 多時期データを用いた奈良県・京都府南部における竹林の抽出、日本リモートセンシング学会誌、Vol.35、No.2、77-88、2015.
- [2] <https://www.satnavi.jaxa.jp/project/atos/>
- [3] 鳥居厚志、奥田史朗：タケは里山の厄介者か？、森林科学、58、2-5、2010.
- [4] 鳥居厚志、井鷺裕司：京都府南部地域における竹林の分布拡大、日本生態学会誌 47:31-41、1997.
- [5] 鳥居厚志：空中写真を用いた竹林の分布拡大 速度の推定(I)—滋賀県八幡山および京都府男山における事例—、日本生態学会誌、48:37-47、1998.
- [6] 自然環境保全基礎調査環境省自然環境局生物多様性センター、自然環境保全基礎調査の植生調査
- [7] 柴田昌三：竹資源の新たな有効利用のための竹林施業、森林科学、58、15-19、2010.

【プロフィール】

奈良女子大学研究院

自然科学系

環境科学領域

教授 村松 加奈子 氏



1993年3月奈良女子大学人間文化研究科（博士課程）修了。博士（理学）。同年4月：日本学術振興会特別研究員。同年7月：奈良女子大学理学部情報科学科技官教務員。助手、講師を経て、2001年4月より同大学共生科学研究中心助教授、准教授を経て、2015年より現職。

専門は、環境科学、陸域リモートセンシング。