

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 30 日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21510004

研究課題名（和文） 樹木誘電率の日変化と、衛星搭載 SAR によるバイオマス推定精度の向上

研究課題名（英文） Variation of dielectric constant for a tree trunk and improvement of biomass retrieval accuracy estimated from satellite-borne SAR

研究代表者

渡邊 学 (Watanabe Manabu)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙利用ミッション本部・主任研究員

研究者番号：10371147

研究成果の概要（和文）：衛星搭載合成開口レーダのデータより、森林バイオマスを推定するときに使われる後方散乱係数の不定性について調べた。衛星データで得られた後方散乱係数と、それに直接関係する樹木誘電率の時系列変化をそれぞれ調べたところ、両パラメータともに降雨との間に弱い相関あることが分かった。これより、森林バイオマスを精度よく求めるためには、これらを考慮する必要があるという結論を得た。

研究成果の概要（英文）：Uncertainty of biomass estimation from satellite-borne synthetic aperture radar data (backscattering coefficient) was examined. Time series of both backscattering coefficient and dielectric constant of a tree trunk, which is directly related to the backscattering coefficient, show a variation, which is weakly correlated with precipitation. We conclude that this effect should be taken into account to derive more accurate forest biomass estimation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
H21 年度	600,000	180,000	780,000
H22 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
H23 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：環境計測、森林バイオマス量

1. 研究開始当初の背景

L バンド SAR の電波強度と、森林量には、相関がある事が知られている。例えば、Le Toan らは、北方林、温帯林、熱帯林の、森林量と”HV” 偏波電波強度の間に相関がある事を明らかにした。この関係は、以下のように使われようとしている。

1. 日本が打上げた衛星に搭載された PALSAR データを用いて、全世界の若い森林の量を見積もる
2. ヨーロッパで始まった二酸化炭素

の取引

全世界の森林量を、統一基準で求めることができるこの方法は、非常に期待されている。しかし、電波強度と森林量にやや大きなばらつきが見られるため、この相関関係はまだ実用的に使われていない。

研究代表者は、JAXA の研究員時代（2003 年～2007 年）に、苫小牧にある国有林で、約 12,000 本の樹木の測定からえた森林量と航空機搭載 SAR データの比較を行い、以下の結果を得た。

1. ”HH” 偏波強度と森林量の相関のばらつきの原因は、樹木の数密度の違いが起源
2. ”HV” 電波強度と森林量の相関は、図1に示すように有為なばらつきがある事を示したが、原因は分からなかった。

2. 研究の目的

HV 偏波強度と森林量の相関のばらつきの原因を明らかにし、PALSAR データを用いて全世界の若い森林の量を、統一基準で精度よく求めるために重要となるパラメータを明らかにする。ばらつきが生じる最も有力な候補として、電波の反射に直接関係する樹木の誘電率の日/季節変化が考えられている。Macdonald ら¹⁾は、探針を樹木の幹に挿入する測定方法で、誘電率が一日のうちに5程度、変化することを示した。しかし、この当時衛星搭載 L バンド SAR がなかったために、この結果を衛星データと結び付け、全世界の森林と関連づけるまでには至らなかった。

2008 年 9 月、この誘電率の日変化を確認するために、本研究室によって開発されたポーラリメトリック GB-SAR システムを使った予備実験を行った。樹木からの電波強度を 48 時間測定し、その反射率の変化を調べた結果、24 時間の周期で、樹木からの HV 偏波強度が 3dB 程度の変化を示す事が分かった。一方、HH 偏波の変化は 1dB 程度であった。これら予備実験の結果は、航空機搭載 SAR を用いて苫小牧の実験で得られた、電波強度と森林量のばらつきとの関連を強く示唆するものであった。

そこで、GB-SAR 測定を、広く一様に広がった森林で行う。PALSAR と GB-SAR 双方のデータに関連づけた上で、衛星搭載 SAR による全世界の若い森林量の取得を”実用的に”行うための、精度向上に重要なパラメータを明らかにする。

1) K. C. Macdonald, et al. IEEE TGARS, VOL. 40, NO. 9, SEPTEMBER 2002

3. 研究の方法

GB-SAR を用いた予備実験で明らかになった、樹木からの電波反射の日変化が、衛星搭載 SAR による森林量推定に与える影響を調べる。(電波強度)-(森林量)関係の有為なばらつきがあることが分かっている苫小牧国有林で、GB-SAR を用いた誘電率変化の調査を行う。PALSAR 観測と同期する事で、GB-SAR と PALSAR の観測結果を結びつける。そして、PALSAR データから推定される森林量と、樹木誘電率の日変化の関係を明らかにする。

4. 研究成果

(平成 21 年度) 地上設置携帯型散乱計の

開発を行い、地表面からの散乱データを取得し PALSAR (衛星搭載 SAR) データとの比較を行った。

PALSAR と同じ周波数である 1.27GHz を含む 0.5-4GHz に感度のあるビバルディアンテナを 4 枚作成し、携帯型ベクトルネットワークアナライザと組み合わせて携帯型散乱計を作成した。さらに電波無響室でアンテナに対し 0 度、45 度、90 度傾けたワイヤを使って、フルポーラリメトリック校正を行い、開発したアンテナの持つ校正係数を見積もった。見積もられた校正係数を用いて、金属球や 3 面コーナー反射鏡で得られたデータを校正した結果、校正前後でクロストークが -11dB から -20dB に改善、位相差は ±6 度から ±4 度に改善、チャンネルインバランスが ±0.6dB で変わらないことが分かった。PALSAR ではクロストークが -31dB 以下、チャンネルインバランスが ±0.02dB 以下、位相差は ±0.32° でこれらの値よりは悪くはなったが、開発したアンテナはフルポーラリメトリックレーダとして性能を十分持つことができることを確認した。さらに Friis の輸送方程式と金属球を用いて絶対値校正を行い、40%の誤差で絶対値が求められることを確認した。このアンテナゲインを用いてノイズ等価後方散乱係数を見積もったところ、2m の距離で -57.2dB であった。また、本アンテナシステムをアラスカで行われた PALSAR 観測とほぼ同期した実験を行い、ポーラリメトリックパラメータの一つであるアルファ角を求めた。地上設置型散乱計は 13 度、PALSAR では 15 度となり、よい一致が得られた。

(平成 22 年度) 樹木誘電率の日変化に伴う電波後方散乱の変化を捉えるために、PALSAR 観測と同期した地上設置型散乱計の長期間計測を仙台市宮城野区荒浜で 2010 年 9 月 29 日から 24 時間行った。しかし地上設置型散乱計のデータは数 dB のランダムな揺らぎを示した。原因を調べた結果、以下であることが分かった。

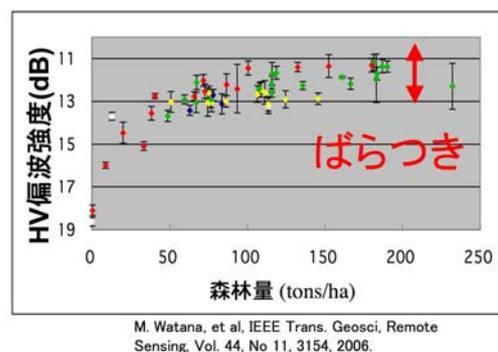


図 1、北海道苫小牧国有林で得られた電波強度と森林量の相関。

1. 樹木からの反射強度が弱く、十分な SN が得られていなかった。
2. レーダ送受信装置で、1つのポートを使ってレーダ送受信を行うと、絶対値の計測精度が悪くなった。

1については測定回数を10回から1000回に挙げることで、2については2つのポートを使い2つのアンテナで計測を行う事で対応をした。その結果、一週間計測を続けても計測精度が0.2~0.3dB以内に収まることが確認

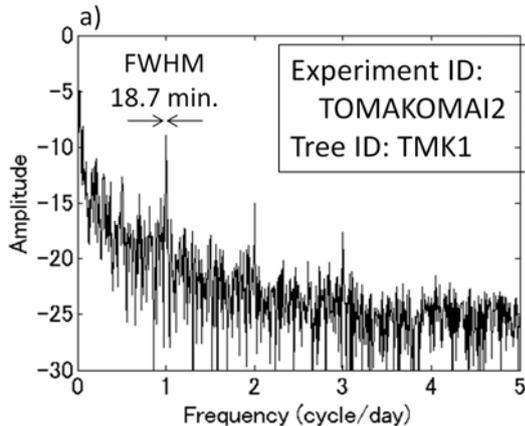


図2、樹木に設置された誘電率計の時系列変化のFFTスペクトル。

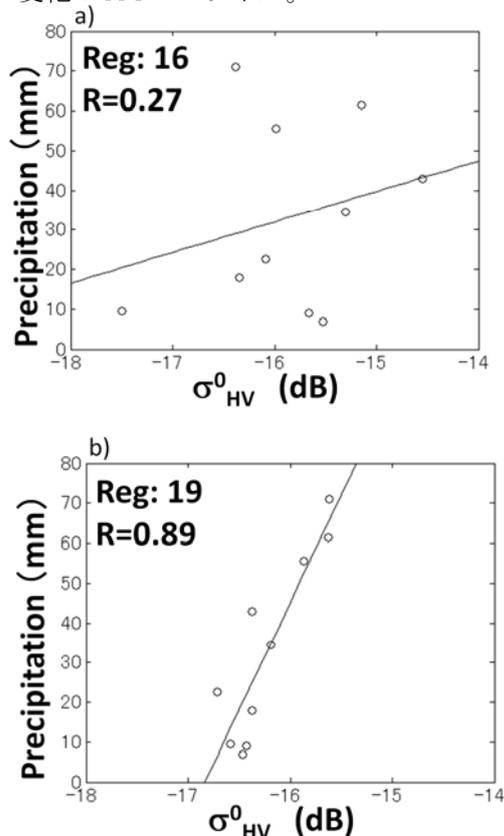


図3、北海道苫小牧国有林のサイト16(上)とサイト19で得られた電波強度(HV)と雨量との相関。

できた。
この装置を電波暗室に持ち込み、観葉植物を用いて7日間の測定を行った。電波の波長は0.5-6GHzで、アンテナは樹木の幹から1mの距離に置いた。また、装置の安定性を確認するためにコーナー反射鏡を観葉植物の後ろに置いた。得られたデータを解析した結果、コーナ反射鏡からの電波反射強度は0.2~0.3dBであったのに対し、樹木幹からの電波反射強度は数dBから5dB程度の変化を示した。これより、本実験装置によって有意な樹木からの電波反射の変化が検出された。ただ、その変化の周期は一日より長くなっていた。これについては、室内に普段置かれている観葉植物特有の性質であることなどが考えられるが、今後外で普通に生えている樹木を測定して結果の評価を行う。

(平成23年度)より長期間の変化の様子をとらえるために、電波反射強度と直接関係する誘電率を測定する装置を樹木に装着し、数か月間の誘電率の変化について調べた。苫小牧国有林とつくば宇宙センター内の樹木(アカエゾマツ、アカマツ)で変化を調べた結果、日変化を示す樹木が、5ケース中、4ケースで見られた。苫小牧に設置された誘電率計の時系列変化のFFTスペクトルを図2に示す。周期一日の場所で強い信号が観測された。しかし誘電率の変化はほとんどの場合、0.2程度と小さいものであった。これに対し、雨が降った後に最大で4程度誘電率が増える事例がいくつかの樹木で見られた。しかし、雨が降ると必ず誘電率が増える訳ではなかった。また、ほとんど誘電率の変化を示さない樹木も1ケースあった。このことから、樹木誘電率変化と雨量の間には弱い相関があると結論付けた。また誘電率変化は日変化と雨が降った後で見られたが、後者の方がより大きな変化を示していた。

合成開口レーダ(PALSAR)を搭載した衛星は2012年の4月に運用が終わってしまったため、2007年~2010年の4年の間に、苫小牧で取られた10個の2偏波モードデータ(HH&HV偏波)を用いて、後方散乱係数の変化を調べた。その結果、1dB程度の変化が見られた。調査地から13km離れた場所に気象庁が設置したアメダスから得られた雨量と誘電率変化の相関を調べた結果、強い相関を示す森林サイトと、弱い相関を示す森林サイトがあることが分かった(図3)。

以上の結果より、森林部で得られる後方散乱係数は雨が降ることによって、1dB程度変わることがありうるという結論に達し、後方散乱係数から森林バイオマスを精度よく求めるためには、このことを考慮したうえでデータを扱っていくことが必要である。これらの結果は、IEEE/Trans. Geosci. Remote

Sensing に投稿された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 18 件)

- ① Chinatsu YONEZAWA, Masahiro NEGISHI, Kenta AZUMA, Manabu WATANABE, Naoki ISHITSUKA, Shigeo OGAWA and Genya SAITO, Growth Monitoring and Classification of Rice Fields Using Multitemporal RADARSAT-2 Full-Polarimetric Data, International Journal of Remote Sensing, 査読有、33(18), 2012, 5696-5711、DOI: 10.1080/01431161.2012.665194
- ② ATSUHIRO TAKAHASHI, HIROYUKI OGUMA, MASANOBU SHIMADA, MANABU WATANABE, YASUMICHI YONE and NOBUKO SAIGUSA, Influence of forest disturbances on backscatter of the airborne L-band synthetic-aperture radar in a larch forest in northern Japan, Hydrological Research Letters, 査読有、5、2011、64-68、DOI: 10.3178/HRL.5.64
- ③ 今井 貴浩 国井 大輔 渡邊 学 齋藤 元也 米澤 千夏、ALOS/PALSAR 全偏波観測データの水稻の生育調査への利用、第 50 回 (平成 23 年度春季) リモートセンシング学会講演論文集、査読無、2011、235-236、DOI: なし
- ④ Akira Kato, Manabu Watanabe, Tatsuaki, Kobayashi, Yoshio Yamaguchi, Joji Iisaka, MONITORING FOREST MANAGEMENT ACTIVITIES USING AIRBORNE LIDAR AND ALOS PALSAR, Proceedings of 2011 IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium、査読無、2011、2318-2321、DOI: 10.1109/IGARSS.2011.6049673
- ⑤ Chinatsu YONEZAWA, Takahiro IMAI, Daisuke KUNII, Manabu WATANABE, and Genya SAITO, POLARIMETRIC OBSERVATION FOR RICE FIELD BY RADARSAT-2 AND ALOS/PALSAR, Proceedings of 2011 IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium、査読無、2011、2282-2285、DOI: 10.1109/IGARSS.2011.6049664
- ⑥ M. Shimada M. Watanabe T. Motooka T. Shiraishi O. Isoguchi A. Mukaida H. Okumura T. Otaki and T. Itoh、Generation of 10m resolution PALSAR and JERS-1 SAR MOSAIC and Forest/Non-Forest Map for Forest carbon Tracking、Proceedings of Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar 2011、査読無、2011、256-259、DOI: なし
- ⑦ Chinatsu Yonezawa Aya Kitamura Takashi Ogawa Yukio Haruyama Manabu Watanabe、Comparison and Incident Angle Dependency for a Relation between Sigma-0 and Biomass Derived from PALSAR、Proceedings of Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar 2011、査読無、2011、312-315、DOI: なし
- ⑧ Manabu Watanabe Masanobu Shimada Motoyuki Sato、Temporal Variation of RCS from a Tree Trunk、Proceedings of Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar 2011、査読無、2011、475-478、DOI: なし
- ⑨ 渡邊学 本岡毅 白石知弘 ラジェッシュバハドールタパ 米澤千夏 島田政信、樹木後方散乱係数の時系列変化、第 51 回 (平成 23 年度春季) リモートセンシング学会講演論文集、査読無、2011、79-80、DOI: なし
- ⑩ ラジェッシュバハドールタパ 島田政信 本岡毅 渡邊学 白石知弘、Spatial simulation of forest cover change in tropical area using PALSAR data、第 51 回 (平成 23 年度春季) リモートセンシング学会講演論文集、査読無、2011、77-78、DOI: なし
- ⑪ 白石知弘 能條由佳 本岡毅 ラジェッシュバハドールタパ 磯口治 渡邊学 島田政信、ALOS/PALSAR データを使用した熱帯林の土地利用分類、第 51 回 (平成 23 年度春季) リモートセンシング学会講演論文集、査読無、2011、75-76、DOI: なし
- ⑫ 島田政信 渡邊学 本岡毅 山之口勤 奥村隼人 伊藤拓弥、全球森林解析の為に PALSAR 全球 10m モザイクデータセットの作成、第 51 回 (平成 23 年度春季) リモートセンシング学会講演論文集、査読無、2011、73-74、DOI: なし
- ⑬ Manabu Watanabe Chinatsu Yonezawa Joji Iisaka Motoyuki Sato、ALOS/PALSAR full polarimetric observations of the Iwate-Miyagi Nairiku earthquake of 2008、International Journal of Remote Sensing、査読有、33 (4)、2012、1234-1245、DOI: 10.1080/01431161.2011.554453
- ⑭ 渡邊学 佐藤 源之、森林部からのポーラリメトリックレーダ散乱、第 48 回 (平成 22 年度春季) リモートセンシング学会講演論文集、査読無、2011、233-234、DOI: なし
- ⑮ 高橋 厚裕 小熊 宏之 島田 政信 渡邊学 米 康充 三枝 信子、北海道苫小牧カラマツ林における航空機搭載 L-band SAR を用いた森林バイオマス・構造変化に関

する研究、第 48 回 (平成 22 年度春季)
リモートセンシング学会講演論文集、査
読無、2011、237-238、DOI:なし

⑩ M. Watanabe, M. Matsumoto, M. Shimada,
T. Asaka, H. Nishikawa, M. Sato、Use of
simultaneous observation data of
GB-SAR/PiSAR to detect flooding in an
urban area. [EURASIP Journal on
Advances in Signal Processing, EURASIP
Journal on Advances in Signal
Processing、査読有、2010、Article ID
560512

⑪ 渡邊学、米澤千夏、佐藤源之、ALOS/PALSAR
フルポーラリメトリモードを用いた土砂
災害域検出、電子情報通信学会技術研究
報告、査読無、209(219)、2011、85-90

⑫ 渡邊学、佐藤源之、PALSAR/Polarimetry
モードによる地表観測データと理論モデ
ルとの比較、第 46 回日本リモートセンシ
ング学会予稿集、査読無、2009、69-70
〔学会発表〕 (計 5 件)

⑬ 渡邊学 佐藤源之、地上設置型多重偏波
SARによる森林測定、第 121 回日本森
林学会大会学術講演会、Apr. 2-5, 2010、
筑波/筑波大学

⑭ Manabu Watanabe、Forest biomass
assessment by SAR、Regional Workshop on
Updated Forest and Carbon Monitoring
Technologies in Asia and the Pacific、
Oct. 27-29, 2010、筑波/宇宙航空研究機
構

⑮ 渡邊学、佐藤源之、災害への応用-岩手宮
城内陸地震での被災地特定、ALOS-2 利
用ワークショップ、2009 年 4 月 20 日、
つくば (JAXA)

⑯ 渡邊学、地上設置/携帯型 L バンドフル
ポーラリメトリック散乱計の開発、SAR
Workshop2009、2009 年 5 月 25 日、東京
(東京大学)

⑰ 渡邊学、佐藤源之、フルポーラリメトリ
L バンド SAR データを用いた水害域、土
砂災害域検出、ALOS2 ワークショップ、
2010 年 3 月 26 日、東京 (秋葉原コンベ
ンションセンター)

〔図書〕 (計 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年月日 :

国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡邊 学 (Watanabe Manabu)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・

宇宙利用ミッション本部・主任研究員

研究者番号 : 10371147

(2) 研究分担者

佐藤 源之 (Sato Motoyuki)

東北大学・東北アジア研究センター・

センター長

研究者番号 : 40178778

(H23:連携研究者)

米澤千夏 (Yonezawa Chinatsu)

東北大学・農学部・准教授

研究者番号 : 60404844

(H23:連携研究者)