

地球温暖化対策のために 森林の立体構造を把握するとは？

露木 聡

REDD+とは

温室効果ガス排出量削減をめざして2005年に発効した京都議定書終了後の新たな枠組みとして、2016年11月4日にパリ協定が発効した。パリ協定は2020年から実施されるが、合衆国オバマ政権が導入した気候行動計画撤廃をトランプ大統領が就任直後に表明したため、その実効性に疑問符がつき始めたというニュースは記憶に新しいところである。

1990年代には土地利用変化（主として森林減少）に由来する大気中へのCO₂の排出は総排出量の2割を占めていたとされることから、京都議定書では森林保全は重要な対策として扱われている。2000年代には土地利用変化起因のCO₂排出量は全体の1割程度に減少したとはいえ、パリ協定でも森林減少や劣化を止めることは有効な対策として取り上げられ、REDD+（途上国の森林減少・劣化に由来する排出の削減、森林炭素ストックの保全及び持続可能な森林経営ならびに森林炭素ストックの向上）として実施

されることになった。これは、途上国における森林減少・劣化の抑制努力を評価し、それにより削減されたCO₂排出量に対し経済的インセンティブを与えようというものである。

REDD+を実際に運用するためにはさまざまな課題を解決する必要があるが、その一つに、現存する森林の炭素量を透明性を持って正確に安価に測定するための技術開発がある。森林減少・劣化の抑制努力を正確に評価するためには必要不可欠な技術で、さらにREDD+は国や準国単位で実施されるために、広域の森林を対象とする必要がある。京都議定書における森林減少は、国毎に定められた森林の定義に従って森林が非森林に変化した面積として計上されたが、REDD+では森林劣化も対象としており、炭素蓄積量の減少が森林劣化として評価されるため、森林の面積だけではなく森林の質（蓄積量の多い森林か少ない森林か）の推定も必要となる。

森林の炭素蓄積量をはかる

森林の炭素蓄積量を推定するためには、森林のバイオマスを知る必要がある。森林のバイオ

マスは数十mにも達する森林の立体構造を測定することにより初めて知ることができるため、

現地の森林にサンプルプロットを設け、1本1本の樹木のサイズを測定して単木のバイオマスを推定する必要がある。この現地調査が森林調査において時間と費用のかかる原因でもあり、アクセス不能地にある森林ではそもそも現地調査を行うこともできない。また、森林分布を広域に把握するためには、航空機や人工衛星から撮影した画像を利用するリモートセンシング技術

が用いられている。従来の手法では森林の平面的な広がりを把握することは可能であるが、森林の高さ（樹高）の情報を得ることや、高木に覆われた下層植生や地表の状況を知ることができなかった。このような従来の手法のブレイクスルーとなったのが、LiDAR（Light detection and ranging：航空機レーザースキャナ）とSfM（Structure from motion）技術である。

LiDARによる森林地上バイオマス推定

LiDARは、航空機から直下に向けて細く絞った短いレーザパルスを多数回（毎秒数万～数十万回）発射し、そのパルスが地表被覆物に反射して帰ってくるまでの所要時間を測定することにより、その高さを測定するものである（図-1）。森林ではレーザ光は葉や枝の隙間を通して樹冠の中や地面にまで到達することができるため、衛星画像や空中写真ではわからなかった森林内部の構造や地形を知ることができる。図-2は、マレーシア・サバ州の山地熱帯林においてLiDAR観測を行ったデータの一部で、森林の縦断面を示している。レーザ光は樹木や地面に反射した点の集合として表されており、樹冠表面だけでなく、森林の内部構造や樹冠下の地形まで詳細に捉えていることがよくわかる。樹冠表面高から地盤高を差し引けば、森林の樹高を知ることができる。このLiDARデータを用いて森林の地上バイオマス推定を行ったところ、山地熱帯林においても比較的高精度に推定できることが分かった（図-3）（Ioki et al., 2014）。

REDD+では、森林からのCO₂排出削減や森

林によるCO₂吸収量増加だけを目的とした活動を行えばよいというわけではない。その活動を行ったことで生物多様性が減少したり現地住民が排除されたりということがあってはならず、

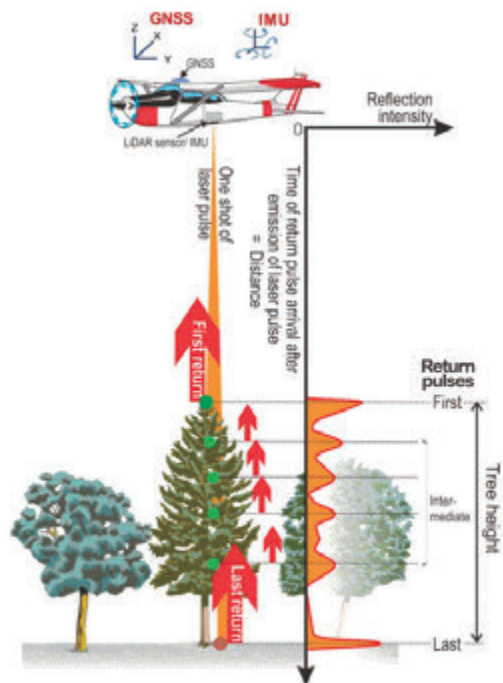


図1. LiDARによる高さの測定

こういったセーフガードの面にも配慮が必要である。同じLiDARデータを用いて森林生物群集の種構成の違いも見分けられる可能性が示さ

れ (Ioki et al., 2016)、生物多様性の評価にも応用可能ではないかと考えられる。

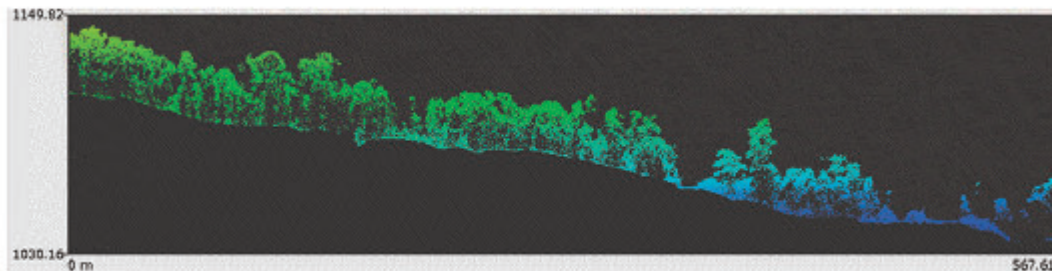


図2. マレーシア・サバ州山地熱帯林におけるLiDARデータの縦断面

空中写真による森林地上バイオマス推定

一方SfMは、コンピュータビジョンの分野で発展した技術で、対象物を多数の方向から撮影した画像を組み合わせることにより、その3次元形状を復元しようというものである。従来から空中写真ではステレオ写真を撮影することにより地表被覆物の高さを測定することが行われていたが、専門家による熟練技術や専用の装置が必要で解像度は低く、完全な自動計測を行うまでには至っていなかった。しかし、ステレオ撮影された空中写真にSfM技術を適用することにより、森林の樹冠表面高を高解像度でほぼ自動的に測定することが可能となった。上述のLiDARデータ取得と同時に一眼デジタルカメラで撮影した簡易空中写真にSfMを適用して樹冠表面高を測定したところ、その91%がLiDARデータ

による樹冠表面高と3m以内で一致することが分かった (図-4) (Wong et al., 2016)。

しかし、森林を撮影した空中写真には樹冠下の地面は写っていないので、地形を知ることが

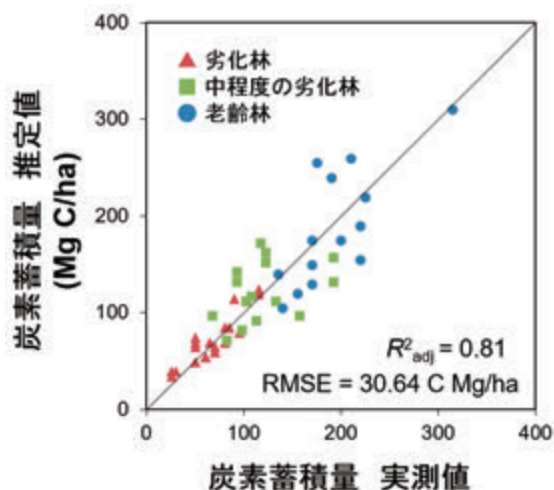


図3. LiDARデータによる森林炭素蓄積量の推定

できない。バイオマス推定には樹高の情報を利用するため、空中写真をSfMで処理した樹冠表面高だけでは不十分で、LiDARによる地盤高が不可欠である。空中写真由来の樹冠表面高とLiDAR由来の地盤高を組み合わせることで、LiDARデータのみの場合の森林の地上バイオマス推定精度を比較したところ、同様な推定（相対RMSE3%未満）を行えることがわかった（Wong, 未発表）。

一般的には、空中写真撮影のコストは

LiDAR観測よりも低く簡便なため、毎回LiDAR観測を行うのではなく、初めにLiDAR観測を行った後は定期的に空中写真を撮影することにより、より低コストで実用的な地上バイオマスのモニタリングが可能になる。最近ではUAV（Unmanned aerial vehicle）で撮影した簡易空中写真を用いた研究も盛んに行われているため、空中写真の利用は今後さらに進むだろう。

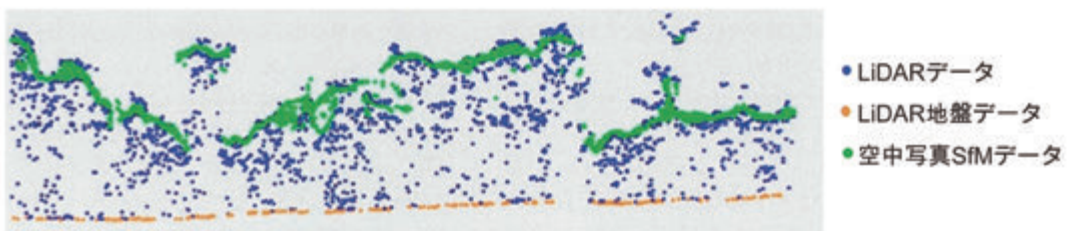


図4. LiDARデータと空中写真SfMデータの比較

REDD+実施に向けて

国全体のLiDARデータを取得するには非常にコストがかかるため、特に発展途上国では、LiDARデータだけで国全体の森林の炭素蓄積量を推定するというのは現実的ではない。例えば、国全体に配置したシステムティックサンプリングポイントでLiDAR観測を一度行い、そ

の後は定期的に空中写真SfMデータ取得を行い地上バイオマスを推定し、その結果を衛星画像データを用いて面的にスケールアップするという手法を用いることで、REDD+の要請にかなう精度や透明性を持つ森林の炭素蓄積量モニタリングを行うことが可能になると考えている。

引用文献

- Ioki, K., Tsuyuki, S., Hirata, Y., Phua, M-H., Wong, W.V.V., Ling, Z-Y., Saito, H., Takao, G. (2014) Estimating aboveground biomass of tropical rainforest of different degradation levels in Northern Borneo using airborne lidar. *Forest Ecology and Management* 328, 335-341.
- Ioki, K., Tsuyuki, S., Hirata, Y., Phua, M-H., Wong, W.V.C., Ling, Z-Y., Johari, S.A., Korom, A., James, D., Saito, H., Takao, G. (2016) Evaluation of the similarity in tree community composition in a tropical rainforest using airborne LiDAR data. *Forest Ecology*

and Management 173, 304-313.

Wong, W.V.C., Tsuyuki, S., Phua, M-H, Ioki, K., Takao, G. (2016) Performance of a photogrammetric digital elevation model in a tropical montane forest environment. Journal of Forest Planning 21 (2) , 39-52.

露木 聡 (つゆき・さとし)

[所属、職位] 大学院情報学環総合分析情報学コース、大学院農学生命科学研究科農学国際専攻(兼務)、准教授
[専攻領域] ジオインフォマティクスを利用した森林環境情報の把握

[主たる著書・論文]

Sakti, A.D., Tsuyuki, S. (2015) Spectral Mixture Analysis (SMA) of Landsat Imagery for Land Cover Study of Highly Degraded Peatland in Indonesia. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL-7/W3, 495-501.

Darmawan, A., Tsuyuki, S. (2015) Simulating Future Land-cover Change -A Probabilistic Cellular Automata approach-. in: Collaborative Governance of Forests (Eds. Tanaka, M. and Inoue, M.), 273-290.

Ioki, K., Tsuyuki, S., Hirata, Y., Phua, M-H, Wong, W.V.C., Ling, Z-Y, Johari, S.A., Korom, A., James, D., Saito, H., Takao, G. (2016) Evaluation of the similarity in tree community composition in a tropical rainforest using airborne LiDAR data. Forest Ecology and Management, 304-313.

Suhardiman, Ali, Tsuyuki, S., Setiawan, Y. (2016) Estimating Mean Tree Crown Diameter of Mangrove Stands Using Aerial Photo. Procedia Environmental Sciences 33, 416-427.

Wong, W.V.C., Tsuyuki, S., Phua, M.H., Ioki, K., Takao, G. (2016) Performance of a photogrammetric digital elevation model in a tropical montane forest environment. Journal of Forest Planning 21(2), 39-52.

[所属学会] 日本森林学会、森林計画学会、日本リモートセンシング学会、地理情報システム学会