

植物機能のリモートセンシングと空間情報解析に関する研究

大 政 謙 次

東京大学教授・工学博士

植物は、種によって異なる特徴ある3次元空間構造をもち、また、その機能は、環境との相互作用で、空間的に異なっている。このため、筆者は、30余年にわたって、蒸散や光合成、成長等の基本的な植物機能を、2次元さらには3次元で画像計測し、空間情報解析を行うための新しい手法の開発とその応用に関する研究を行ってきた。その特徴は、細胞や個体レベルの研究とフィールドや航空機、人工衛星からのリモートセンシングの研究を融合させ、それまでは困難であった2次元、3次元の情報をを用いた解析を可能にし、植物機能の理解を深化させた点にある。そして、植物の環境応答や機能解明に関する研究を通して、農学や植物科学、環境科学の分野における新しい研究法として発展させ、情報通信技術 (ICT) の利用促進と併せて、実利用の面でも多くの貢献をしてきた。さらに、地球環境問題に関連して、温暖化や大気汚染等の植物影響研究や地球観測研究にも取り組んできた。以下に、その主な研究業績を簡単に紹介する。

1. 植物機能の画像計測処理システムの開発

1970年代後半から、コンピュータでの解析が可能な画像計測処理システムを開発し、1980年頃には、環境制御温室やほ場で生育している植物の熱赤外 (葉温) 画像や近赤外～近赤外分光反射画像を、光ファイバ通信によりオンラインで自動計測し、解析するシステムを構築した。その後、顕微鏡画像や分光蛍光画像、3次元画像等を加えた複合画像計測処理システムへと発展させた。現在では、インターネット利用の観測システムとして、また、航空機や衛星からの観測と併用したシステムとして、研究分野だけでなく、先端農業や環境影響モニタリング等の実際の現場でも利用されている。

2. 熱赤外リモートセンシングに関する研究

1980年頃、開発した熱赤外画像計測システムを用いて、オンラインで連続計測した葉温画像から、蒸散速度や気孔拡散抵抗 (気孔コンダクタンスの逆数)、 O_3 や SO_2 、 NO_2 等の大気汚染ガスの吸収速度の葉面分布の変化を、2次元画像情報として世界で初めて数値化し、気孔反応と汚染ガス吸収量、障害発現との関係を明らかにした。また、生育している状態で気孔反応の直接観察を行い、気孔反応と障害発現のメカニズムを検証した。その後、これらの知見を利用して、地上計測や航空機を利用した農作物、街路樹、都市緑地、山岳地の森林衰退等の診断に適用した。これらの研究は、この分野の先駆的な研究として位置づけられている。また、衛星リモートセンシングによる山岳地の森林や自然植生の蒸発散機能の診断に有効な指標の提案も行っている。

3. クロロフィル蛍光リモートセンシングに関する研究

光合成研究や農業・環境分野の植物診断法として最近よく用いられるクロロフィル (Chl) 蛍光の2次元画像計測は、筆者の Plant Physiol. (1987) (5) の研究が最初である。

この論文は、Chl 蛍光のデジタル画像計測システムを開発し、 SO_2 の可逆的光合成影響を解析したものである。その後、UV-B や低温、水ストレス等の植物影響診断にもこの手法を適用した。また、葉の光合成器官や培養組織の発達段階の診断にも有効であることを示した。さらに、上述した気孔コンダクタンスと Chl 蛍光パラメータの同時画像計測が可能なシステムを開発し、葉面での光強度と気孔反応、そして、光合成の電子伝達や熱放散等との関係を明らかにした。これらの知見は、気孔閉鎖を伴う水ストレス診断等に有効な手法の理論的裏付けとなっている。一方、葉の *in situ* 葉緑体の Chl 蛍光の 3次元解析が可能なりアルタイム共焦点顕微鏡システムを世界で初めて開発し、葉内組織の 3次元構造と光環境応答の関係を明らかにした。さらに、レーザーキャナを用いた Chl 蛍光リモートセンシング手法の開発も世界に先駆けて行った。

4. 分光反射リモートセンシングに関する研究

分光反射リモートセンシングに関しては、航空機や衛星リモートセンシングの応用研究として、マルチバンドやハイパースペクトルセンサを用いた農作物や自然植生の精密分類や植生遷移の解析、また、高解像度と低解像度画像を融合するミクセル分解法によるフィリピンの土壌流出評価法の開発、上述の蒸発散指標の検討等、多くの研究成果を論文として発表している。また、地上計測でも、ハイパースペクトルカメラ等を用いて、植物色素や成長の評価のための手法の検討を行い、これらの成果をもとに、リモートセンシングの分野でよく用いられている PRI (Photochemical Reflectance Index) や水ストレス指標の問題点を指摘した。さらに、次期衛星搭載高性能ハイパースペクトルセンサ開発 (NEDO) の採択審査委員長等を務め、この分野の発展に貢献した。

5. 3次元リモートセンシングに関する研究

地上及び航空機ライダーを用いた植物個体や群落の 3次元構造解析に関する研究を 1990 年代後半から実施し、葉面積密度やバイオマス、樹冠高等を自動推定し、成長解析を行う手法を新たに開発し、その誤差精度の評価法を提案した。また、上述した種々の手法との複合リモートセンシングを提案し、植物診断に応用した。さらに、2波長ライダーの開発を行い、植物器官の 3次元分類に適用した。これらの研究成果は多くの学術誌に掲載され、また、*Funct. Plant Biol.* の表紙 (36 (10/11) 2009) や *J. Exp. Bot.* の事務局が発行する絵葉書 (2007) 等にも採用され、国際的にも評価されている。

6. 温暖化や大気汚染の影響評価のための空間情報解析に関する研究

地球環境問題が注目され始めた 1990 年代以降、環境省の地球環境研究総合推進費のプロジェクトリーダーとして、空間情報解析による植物や植生への温暖化影響評価の研究を行った。その成果として取り纏めた論文や編著書 (例えば、(9)、(17)) は、IPCC (気候変動に関する政府間パネル) 報告書にも引用されている。また、IPCC 報告書の作成にも expert reviewer として貢献した。一方、2. のガス吸収速度推定の際に実験により得た " O_3 や SO_2 、 NO_2 等が植物体内で迅速に代謝され、ガス拡散抵抗モデルの植物側境界条件である気孔底界面でのガス濃度を 0ppm と近似できる" という知見は、その後、多くの研究者により検証され、グローバル大気汚染のモデル推定等に利用され

ている。筆者らも空間情報解析による東アジアでの植生の O_3 吸収量の推定に適用した。最後に、共同研究者やこれまで多くのご援助頂いた方々に深甚の謝意を表します。

7. 論文等、主な関連研究業績

- (1) 大政謙次・安保文彰他(1978-79) 農業気象 34:51-58, 35:77-83
 - (2) 大政謙次・相賀一郎(1981) 遺伝 35(1) 25-31
 - (3) Omasa K, Hashimoto Y, Aiga I (1981) Environ. Control in Biol. 19: 59-67, 85-92
 - (4) Omasa K, Hashimoto Y, Kramer PJ, Strain BR, Aiga I, et al. (1985) Plant Physiol. 79:153-158
 - (5) Omasa K, Shimazaki K, Aiga I, Larcher W, Onoe M (1987) Plant Physiol. 84:748-752
 - (6) Omasa K, Aiga I (1987) Systems & Control Encyclopedia. Singh MG (ed) Pergamon Press, 1516-1522
 - (7) 大政謙次・近藤矩朗・井上頼直(1988) 植物の計測と診断 pp. 239 朝倉書店
 - (8) Omasa K (1990) Modern Methods of Plant Analysis. New Series, Vol.11. Linskens HF, Jackson JF (eds). Springer-Verlag, 203-243
 - (9) Omasa K, Kai K, Taoda H, Uchijima Z, Yoshino M. (eds) (1996) Climate Change and Plants in East Asia. pp.215, Springer-Verlag
 - (10) Omasa K, Tobe K, Hosomi M, Kobayashi M (2000) Environ. Sci. Technol. 34:2498-2500
 - (11) Omasa K (2000) Image Analysis: Methods and Applications, 2nd Ed. Häder DP (ed) CRC Press. 257-273
 - (12) 大政謙次・秋山幸秀・石神靖弘他 (2000) 日本リモートセンシング学会誌 20:394-406
 - (13) Omasa K, Saji H, Youssefian, S, Kondo, N. (eds) (2002) Air Pollution and Plant Biotechnology. pp.455, Springer-Verlag
 - (14) 大政謙次 (2002) 農業情報研究 11:213-230
 - (15) Omasa K, Qiu GY, Watanuki K, Yoshimi K, et al. (2003) Environ. Sci. Technol. 37:1198-1201
 - (16) Omasa K, Takayama K (2003) Plant Cell Physiol. 44:1290-1300
 - (17) Omasa K, Nouchi I, De Kok LJ (eds). (2005) Plant Responses to Air Pollution and Global Change. pp.300, Springer-Verlag
 - (18) Omasa K (2006) CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Vol VI. Information Technology. Munack A (ed) ASABE. 217-244
 - (19) Omasa K, Hosoi F, Konishi A (2007) J. Exp. Bot. 58:881-898
 - (20) De Asis AM and Omasa K (2007) ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 62:309-324
 - (21) Lu S, Oki K, Shimizu Y, Omasa K (2007) Int. J. Remote Sens. 28:963-984
 - (22) Omasa K, Hosoi F, Uenishi TM, Shimizu Y, et al. (2008) Environ. Model. Assess. 13:473-481
 - (23) Hosoi F, Omasa K (2009) ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 64:151-158
 - (24) Omasa K, Konishi A, Tamura H, and Hosoi F (2009) Plant Cell Physiol. 50:90-105
 - (25) Konishi A, Eguchi A, Hosoi F, Omasa K (2009) Func. Plant Biol. 36:874-879
 - (26) Cieslik S, Omasa K, Paoletti E (2009) Plant Biol. 11:24-34
 - (27) Hosoi F, Nakai Y, Omasa K (2010) IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 48:2215-2223
- なお、研究業績の詳細は、著書等：<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/joho/Omasa/books20090123.html>、論文：<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/joho/Omasa/papers2010311.html> で参照できます。