

「資源循環・エネルギーミニマム型システム技術」
平成10年度採択研究代表者

山田 興一

(信州大学繊維学部 教授)

「乾燥地植林による炭素固定システムの構築」

1. 研究実施の概要

未利用乾燥地への大規模植林による持続可能な炭素固定システムの確立を目的とした、水、塩、大気環境、地形、樹種、エネルギーを組み込んだモデルを考案し、全地球的に適用可能な緑化シミュレータの構築を行う。昨年度同様、現地研究機関とも連携し、現地特有の土壌物性、水環境、樹木特性、気候条件に関する基礎データの取得及び解析を行い、各構成モデル(土壌、植生、大気)の構築、検証および改良を進めてきた。また実証植林は、昨年度植林したサイトに加えて新たに2サイトの植林を実施した。

今後更にデータを蓄積し、各モデルを改良するとともに、各モデル間での入出力を明確にし、それらを結合した一つの緑化シミュレータを構築する。そのためには、地形、地下水などを考慮した広域の三次元的な水移動の把握、植物の炭素固定速度の解析、植生および土壌物性のゾーニングによる植林可能域の推定なども行う必要がある。また、植林された樹木の成長、土壌環境、気候条件を観測し、導入された緑化手法の検証を行うとともに、さらに効果的な新規な緑化手法の提案、実証をも行っていく。

2. 研究実施内容

全体システム構築グループをはじめとする、土壌システム、植生システム、大気システムの各グループが有意義な研究を行うことができた。各グループの成果を下記のようにまとめることができる。

(1) 全体システム構築グループ

昨年度と同様に研究の総括を行うとともに、現地(Leonora, Esperance)の代表的な植生の成長速度・炭素固定量の測定、土壌水分、環境因子測定、実証植林等を、以下のように実施した。

土壌水分を連続測定するために、TDRプローブを調査サイトに設置し、得られた平均土壌含水率と植生現存量との比較を行うことにより、樹木の生存に必要な土壌含水率の推定を行った。また、自生している樹木の成長速度をデンドロメータにより測定し、樹種間、サイト間での成長の違いを明らかにし、環境因子(土

壤水分など)との関係を検討した。

昨年度までに植林された樹木の樹高、胸高直径などを定期的に測定し、樹種、土壤改良技術、灌水量の違いによる成長速度の差を明らかにした。また、Site Cにおいて、植林した樹木(2種)の根を掘り出し、ハードパン爆破後の土壤における根の生育状況を観察したところ、根の生育は良好で、土壤改良の効果を確認することができた。

昨年度造成した Site E, F に植林を実施した。Site E では、ハードパンを爆破せず、上流部の表土を剥ぎ、下流側に盛り土をし、その上に植林するという方法を採用しているが、降雨時に効率よく集水が行えていることが確認できた。Site F は現存の樹木の間を補間する形で植林を実施したが、時期が夏に入ってから植えたこともあり、苗の生長は芳しくなかった。次年度、再度植林を行う予定である。また、焼成ポーキサイトの土壤改良材としての利用可能性を検討するために、新たに植林サイト(Site G)を設け、土壤整備などの植林準備を行った。さらに、植林の初期灌水、植樹密度の最適制御法を確立するために、Site C の近郊に新たに植林予定地(Site T)を設け、次年度から植林を開始することを決定した。

実施している植林法の炭素収支を求めるために、植林実施に際して使用した爆薬、フェンス等の素材製造時、重機・機器の燃料消費時に伴うCO₂排出量、エネルギーの使用量を、LCA(ライフサイクルアセスメント)手法を用いて求めた。予測される固定量と比較した結果、本植林法は固定技術として十分なものであることが確認できた。

我々の目的とする炭素固定システムを確立するための緑化シミュレータは、一次元的なモデルであるが、土壤、植物などのサブシステムを組み合わせ、実行できるまでに至った。今後、個々のサブシステムモデルを充実させるために、各グループで測定しているデータを用いて、実際の現象に即したモデル構築を行う。また、連続測定している土壤水分、気象等の膨大なデータを効率よく処理するためにデータベース化も試みている。

(2) 土壤システム研究グループ

土壤中水分塩分移動解析が行える、モデルの構築のために、飽和透水係数、不飽和透水係数、粒径分布、嵩密度、浸透能等の土壤物性測定を行った。今年度で Site 1-12、A-F の土壤物性測定は概ね実施された。今後、対象地域への拡張に関して検討する必要がある。また、土壤中の水分移動をシミュレーションできるモデルの開発を進めており、モデルの妥当性の検証、全体システムの構築する緑化シミュレータとの連結も行っていく予定である。

焼成ポーキサイトの保水材としての利用可能性を明らかにするために、焼成ポーキサイトの比表面積、細孔容積、細孔径分布、保水能、保肥能測定を行った。

土壌改良材としてポーキサイトを用いる場合、焼成および輸送が必要となるが、そのエネルギー、CO₂ 排出量を算出した。今後実証実験を元に、炭素収支を求める予定である。

現地で適用可能な蒸発抑制を考慮に入れた表面流出捕集法の有用性を検討するための室内実験を実施した結果、浸透速度の増加、蒸発速度の抑制に効果があることが確認された。

広域の水移動を把握するために、Site C の地下水流域にある井戸の地下水位観測、および地盤標高データによる流域分割、降雨解析を開始した。また、モデルを開発するために、既存のモデルの利用可能性を検討するなど、下準備を進めている。

(3) 植生システム研究グループ

栄養塩が植生に及ぼす影響を明らかにするために、*Acacia aneura* または *Eucalyptus camaldulensis* を代表種としてもつサイトを複数選び、その土壌中栄養塩濃度、樹木中栄養塩濃度の測定を継続的に行い、不足している栄養塩の抽出を行った。

樹液流速の測定のために、樹液流速測定装置 (TDP) を計 6 サイトに設置を行い、樹液流量の測定を継続的に行えるようにした。結果としては *Eucalyptus camaldulensis* は降雨の数倍に相当する水を使用していることが明らかになっている。また、*E. camaldulensis* に関して、TDP による樹液流速の連続測定と平行して、LI-6400 により光合成速度及び蒸散速度の日変化を測定し、また同時にチャンパー法とサイクロメータ法により葉の水分ポテンシャルを測定し、植物生理を考える上で必要なデータを得ることができた。今後季節変動等を加味して継続していかなければならない。

植物による CO₂ の固定量を求めるためには、リター量の把握が必要である。乾燥地では、樹木密度が低いために、通常実施されている方法では正確な値の測定が困難である。そのため新規なリタートラップを考案し、設置を行った。また、そのリターの分解速度を求めることで林内の物質循環を知ることができる。典型的なサイトで土壌呼吸の測定、リター分解速度の測定を行っている。

伐倒調査と毎木調査の結果から求めた植物現存量と衛星画像のデジタル値から算出した指数とを比較し、両者の相関について検討した。衛星画像は Landsat TM (1998/6/9、10/15 の 2 時期) を使用し、Vegetation Index (NDVI、SAVI、PD54 の 3 種) と主成分得点の計 4 つの指数を算出した。その結果、SAVI は時期を問わず植物現存量と高い相関を示した。また、主成分得点は時期により差が見られたが、使用した 4 指数の中で最高の相関を示した。対象地の平均植物現存量は 36.1 ~ 65.1 t-dry/ha (95% の信頼区間) であり、これは低木林と同程度であるこ

とが明らかになった。

代表的な植生である *Eucalyptus camaldulensis* および *Acacia aneura* において、炭酸ガス固定に影響を与える環境要因（日射量、風速、気温、湿度、土壌水分）を利用した、炭酸ガス固定予測モデルを作成し、単位面積あたりの CO₂ 固定量を推定した。その結果ユーカリ林はアカシア林の10倍程の固定量があることがわかった。

(4) 大気システム研究グループ

植林による樹木の生態系導入に際しての気象変化をシミュレート可能なモデルの開発、全体システム研究グループで構築する炭素固定システムに組み込むことのできるモデルの開発を目指し以下のことを実施した。

気象庁が開発した JSM モデルを用いて約 500km 四方の地域で様々な地表面条件について解析した結果、ある大気条件のもとでは、植林による生態系導入に対して、降雨量や湿度の増加などの効果が得られることが明らかとなった。裸地の多い対象地では、気象に対して土壌（土壌水分）の影響が大きいことが考えられる。メソスケールモデルによる気象シミュレーションをより詳細に行うために、最近アメリカ大気研究センター NCAR で開発されたモデル MM5 を導入し、気象変化の解析をより正確に実施できるようにした。

JSM と MM5 はメソスケールモデルであり、短期的な気象変化をシミュレートすることができる。乾燥地での降雨メカニズムの解明を行うことができるが、長期的な変動に対しては、季節や年ごとの対象エリア全体の水収支を計算するためのモデルとして、アメリカ大気研究センター NCAR で開発された気候モデル CCM3 (Community Climate Model) を用いて、対象エリア全体の水収支を評価することが、現状では最適である。これから CCM3 の導入も検討している。

3 . 研究成果の発表

(1)論文発表

Masahiko Taniguchi, Yukuo Abe, T. Kojima, Masahiro Saito, Koichi Yamada, John Law ; Estimating of present biomass in Leonora, Western Australia, J. Arid Land Studies 10S, 85-88(2000. 4)

Hiroyuki Hamano, Yasuyuki Egashira and T. Kojima ; Numerical Prediction of Water Movement in Western Australian Soil for a Large Scale Afforestation, J. Arid Land Studies 10S, 25-28(2000. 4)

Tsuyoshi Matsumoto, Sangeeta Sinha, Toshinori Kojima, Shigeru Kato, Hiroaki Wakabayashi ; Studies of Salt and Water Movement of Saturated Soil with A New Method of Irrigation of Halophytes, J. Arid Land Studies 10S, 41-44(2000. 4)

松本剛、田中淑子、小島紀徳、加藤茂、斉藤昌宏、安部征雄、山田興一；西オー

ストラリア・レオノラ乾燥地域における CO2 固定大規模植林技術の検討(1) 塩と植生の関係、海水学会誌54(3)、196-204(2000.6)

濱野裕之、江頭靖幸、小島紀徳：豪州乾燥地の土壤中浸潤シミュレーション、化学工学論文集、26(4)581-587(2000.7)

李大寅、小宮山宏、栗原和夫、加藤康雄；"The Impact of Desert Afforestation on the Wether Modification in Western Australia in Summer", Journal of Arid Land Study, 10S, 13-16, 2000

李大寅、小宮山宏、栗原和夫、加藤康雄；"Case studies of the impact of landscape changes on wether modification in western Australia in summer", Journal Geophysical Research, 105, 12303-12315, 2000

李大寅、小宮山宏「大規模緑化に伴う気象変化のシュミレーション」ケミカルエンジニアリング、46、108-117、2001