

「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、西オーストラリア Leonora 近郊の半乾燥地(平均年間降水量:216mm)を研究対象地として選択した。現地特有の土壌物性、樹木特性、水環境、気象に関する基礎データを取得し、土壌、樹木、大気を統合した緑化シミュレータの構築を行うとともに、対象地において植林試験を行い、対象乾燥地に適した緑化技術の提案、評価を行ってきた。基礎データの収集は順調に進み、シミュレータの骨組みが構築され、現実に即した改良の段階に至った。また植林試験の経過から、提案された新規緑化技術の有効性が明らかになってきた。

今後は、対象地における利用可能水量、広域水移動、植林可能地域などを明らかにし、対象地における可能炭素固定速度の推定を行う。また、本緑化手法のエネルギー評価を行い、妥当性を検討する。さらに、他の乾燥地への本緑化手法の適用可能性を検討し、適用した場合の可能炭素固定量・速度の推定を行う。

2. 研究実施内容

(1) 全体システム構築グループ

昨年度までに試験が開始されている植林サイト(Site A~F)に加えて、今年度は新たに Site G、T での植林試験を開始した。Site G では、新規土壌改良材として本研究グループが提案した焼成ボーキサイトを土壌に混入し、植林における有効性を明らかにする。Site T に導入された土壌改良技術は Site C と同様であるが、初期灌水量、植樹密度、施肥量を変え、炭素固定速度を増大させるための最適条件を明らかにする。植林サイトでは、定期的に樹高、樹冠径などを測定し成長を観測するとともに、土壌水分のモニタリング、気象観測(Site A,C)等を継続的に実施している。また、Site C、T では植林エリア内に流入する上流からの表面流出量も観測している。Site D では、灌水を停止し、植林樹木が枯死に至るか否か、至る場合の土壌および樹木の水分条件を明らかにするための試験を開始した。植林樹木の成長解析を行い、獲得可能な水量により達成される炭素固定速度が推定され、またそのために導入すべき土壌改良技術が明らかになった。

緑化シミュレータ開発により、導入される複数の土壌改良技術の評価、植林樹木の成長(炭素固定速度)の予測、さらには感度解析により樹木成長の制御因子の特定ができ、地域ごとの導入

すべき技術が明確化されつつある。現在は一次元土壌水分分布の経時変化から、光合成量・炭素固定量を推定することが可能となっている。今後各サブモデルの改良、枯死過程のモデル化、土壌中水移動のような速い過程と、樹木成長の年スケールの遅い過程を同時に扱うための計算アルゴリズムの改良などを行う。さらに、現地で取得される膨大なデータをデータベース化し、シミュレータと直接連動させ、炭素固定の最適化をはかる総合的な管理ツールの開発も目指している。

上記に加えて、航空機を用いた CO₂、水蒸気 Flux の測定も行っており、地上データとの比較による炭素固定速度、水分利用効率の明確化を進めている。また、乾燥地域 Leonora 以外に、半乾燥地域での樹木成長速度測定も行っており、幅広い気象条件下での炭素固定速度の定量的評価も実施している。

(2) 土壌システム研究グループ

乾燥地における効果的植林のためには、土壌環境の改善、限られた雨水の効率的利用が要求される。緑化技術評価、新規技術提案、あるいは植林サイト選定に活用するために、土壌内水移動解析および広域水収支解析を進めている。

土壌内水移動解析については、水分蒸発と水蒸気移動を組み込み、実際の水移動現象をより正確に再現できるモデルの構築を目指した。計算値を実測値と比較することによりモデルの妥当性を評価した。広域水収支解析については独自のモデル開発を進めており、これにより、対象地内においてどの樹種を、どの場所に、どのように植林していくのが最適かを定量的に評価することが可能となる。

ほぼ全てのサイトで土壌の基礎物性測定を実施し、透水試験からは植生の豊かなサイトでは土壌表層からの浸透が速いこと、また保水能試験からは植物利用可能水量が定量的に明らかになった。実測値を用いた数値計算によりしおれ点到達時間を推定し、植生量及び植被率との関係を見たところ、強い相関が確認された。また各サイトに設置した TDR センサーからの温度・水分・塩分の経時変化データの整理を、機器の補正も含め、行っている。

新たな土壌改良法として高透水性溝の効果を検討した。溝を設置することにより、流出水を土壌に速やかに浸透させ、かつ 20%以上蒸発を抑制させうることが明らかとなった。また、本研究グループで開発してきた新規無機保水材としての焼成ポーキサイトについては、最適物性発現のためには急速昇温が必要であること、肥料分供給担体としての効果も期待されることが明らかとなった。また他の保水材との比較から、乾燥条件下での有効性を定量的に示唆した。

(3) 植生システム研究グループ

調査サイト(Site 1~7)において毎木調査を実施し、測定を開始した 1997 年からの植物現存量の変化を推定した。現存量は全体的に増加傾向にあり、特に低灌木地で増加が大きかったが、ユーカリの密林では枯死木も多く、現存量はほとんど変化していなかった。

多地点での毎木調査の結果、植生タイプ・樹種に関わらず植被率と現存量の間に高い相関が見られた。その関係を基に、航空写真を用いて推定した結果、対象地域内の平均現存量は 22t/ha と一般的な乾燥地よりかなり大きかった。より広域の植生現存量分布を定量化するために、衛星データと航空写真、地上測定結果との関係を解析中である。また、現存量分布と地形とを比

較した結果、クreek周辺かつ傾斜が緩やかな地点で現存量が大きく、これは周辺からの流入水や土砂の堆積のためであると考えられた。

樹冠外の光量子束密度と風速、樹冠内外の温湿度、深さ別の土壌水分と樹液流をユーカリとアカシア林で1年間継続的に測定した。また、光と光合成速度の関係、温度と光合成速度、暗呼吸速度の関係、葉面積指数、林内光環境を調べた。アカシア林で灌水を行い、土壌水分と光合成速度、葉の水ポテンシャル、樹液流の回復過程を調べた。これらの結果から、土壌水分に対するユーカリ、アカシアの光合成特性、それらを植林に用いる場合の適性、培地となる土壌の必要条件が明らかになった。このように緑化シミュレータに取り込むべき樹木生理データが蓄積されつつある。

現地の天然木、植栽木の代表樹種であるアカシア (*Acacia aneura*)、ユーカリ (*Eucalyptus camaldulensis*)、カジュアリーナ (*Casuarina obesa* および *C. canninghamiana*) の伐倒調査を行い、幹、枝、葉、地上部バイオマスを推定するアロメトリー式を作成した。これにより、天然木および植栽木の成長量を正確に推定することが可能となった。

現地生態系の正味の炭素固定速度を求めるために、リターフォール量、リターの分解速度及び土壌呼吸量を測定した。これらの結果を基に、コンパートメント・モデルに当てはめて比較したところ、ユーカリ林 (Site LP) のリターフォール量と年間土壌呼吸量は熱帯雨林と温帯林の中間程度、密なマルガ林 (Site 7) は冷温帯林よりやや大、中程度および疎なマルガ林 (Site 2, 12) では亜寒帯林よりも小さいという結果となった。一方、リターの分解量は各サイトとも冷温帯林程度であった。

優先種である *A. aneura* と *E. camaldulensis* について樹木中の栄養塩組成を明らかにした。各サイトの土壌栄養塩含有量と樹木中の栄養塩濃度の関係を明らかにし、またそれらの組成の比較により、*A. aneura* では窒素、リンが不足していることを明らかにした。その他、安定同位体分析による樹木の水源推定、土壌から植物に至る栄養塩元素をトレーサーとした単位固定炭素量あたりの必要水量推定などについても検討を進めている。

(4) 大気システム研究グループ

大規模植林が気象に与える影響解明・予測を目的とし、対象乾燥地の降水量と植生量の長期にわたる変動解析、緑化に伴う気象変化の予測が可能なモデルの開発を行った。

スペクトル解析の結果、現地の降雨パターンには太陽黒点周期に同調する成分を含むいくつかの周期が見られ、また衛星植生指数 NDVI にも周期性があった。地下水位観測では、雨季、乾季による長期変動に加え、短期の涵養による水位変動が検出された。

実測の全球解析データより、四季別に降水日、晴天日のような典型的な気象条件を選択し、500km 四方の大規模植林が気象に与える効果をメソスケールモデルを用いて検討した。その結果、大規模植林が降水量の増大をもたらす得ることが強く示唆された。また、灌水は降水として還元されるが、その比率は気象条件によって数%~200%以上にまで変化し得る。午後に降水が期待される場合に、前日に灌水を行えば、灌水量の倍に相当する降水の増大が可能である。

また、植林地域における雲や雨などの短期的マイクロ物理過程から、オーストラリアまたは全球規模での長期的な影響までを予測・評価するために、マイクロからマクロの異なるスケールのモデル開発、各モデル間のインターフェース作成・結合に着手した。

3. 研究実施体制

(1) 全体システム構築グループ

- ① 研究分担グループ長:山田 興一(信州大学繊維学部 教授)
- ② 研究項目
 - ・ 総合モデルの構築
 - ・ エネルギー評価
 - ・ モデルの現地適用(植林の実施)

(2) 土壌システム研究グループ

- ① 研究分担グループ長:小島 紀徳(成蹊大学工学部 教授)
- ② 研究項目
 - ・ 現地土壌物性の把握
 - ・ 水移動シミュレーション
 - ・ 塩移動シミュレーション
 - ・ 保水剤の開発、評価

(3) 植生システム研究グループ

- ① 研究分担グループ長:安部 征雄(筑波大学農林工学系 教授)
- ② 研究項目
 - ・ 現地植生量の把握
 - ・ 現地樹木の特性把握
 - ・ 実要水量計測
 - ・ 樹種選択に関する情報収集

(4) 大気システム研究グループ

- ① 研究分担グループ長:小宮山 宏(東京大学大学院工学系研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・ 大気シミュレーションモデルの構築
 - ・ 気候変動予測

4. 研究成果の発表

(1) 論文発表

- 齊藤忠臣、安部征雄、安田 裕、小島紀徳、山田興一; Runoff Water Collection and Evaporation Control By Highly Permeable Ditch(高透水性の溝による流出水捕集とその蒸発抑制)、Science in China(2001)投稿中
- 安部征雄、谷口雅彦、齊藤忠臣、齊藤昌宏、大和田真弓、山田興一、Comparison of two methods to estimate biomass using Landsat TM in arid Western Australia(乾燥西オーストラリアにおける Landsat TM を利用したバイオマス推定のための2手法の比較)、Science in China(2001)投稿中

- 安田 裕、安部征雄、山田興一：西オーストラリア州スタアトメドー地区における年降雨量時系列の周期変動について、日本沙漠学会誌「沙漠研究」、Vol.1, No.1, 71-74 (April 2001),
 - 安部征雄、齋藤忠臣、内藤大嗣、小島紀徳、山田興一；西オーストラリアの乾燥地における土壌透水性と植物量の関係、日本沙漠学会誌「沙漠研究」、Vol.11, No.2, 131-140 (July 2001),
 - 濱野裕之、田原聖隆、小島紀徳、山田興一：乾燥地における飽和透水係数の原位置測定および土層構造解析、農業土木学会論文集、69 (6), 739-746 (216, 33-40) (2001.12)
 - Sanjay Kumar, R. Datta, S. Sinha, T. Kojima, S. Katoh, M. Mohan: Carbon Stock, Afforestation and Acidic deposition : An Analysis of Inter-relation with Reference to Arid areas, Water, Air, and Soil Pollution 130: 1127-1132 (2001)
 - S. Sinha, T. Matsumoto, Y. Tanaka, J. Ishida, T. Kojima, S. Kumar: Solar desalination of saline soil for afforestation in arid areas: numerical and experimental investigation, Energy Conversion and Management, 43, 15-31 (2002)
 - 宇都木玄、田内裕之、谷口雅彦、斉藤昌宏、安部征雄、山田興一；単木状に成立する森林の光環境の推定、日本林学会北海道支部論文集、Vol.50, 17-19 (2002)
 - 田内裕之、宇都木玄、谷口雅彦、安倍征雄、斉藤昌宏、山田興一；単木状に生育する樹木のバイオマス推定、日本林学会北海道支部論文集、Vol.50, 56-58 (2002)
 - 李大寅、小宮山宏；オーストラリアにおける大規模緑化と降水量増大効果、化学工学論文集 (2002) 投稿中
 - 濱野裕之、田原聖隆、小島紀徳、山田興一：乾燥地における飽和透水係数の原位置測定および数値計算による測定精度評価；農業土木学会論文集(2002)投稿中
 - S. Sinha, T. Kojima, S. Kumar; System identification process - An effective tool for material and energy conservation, renewable utilization and CO2 mitigation, World Resources Review (2002) 投稿中
 - Y. Tanaka, S. Katoh, T. Kojima, K. Tahara, N. Takahashi and K. Yamada; Estimation of water requirement per unit carbon fixed by Eucalyptus Camaldulensis in semi arid land of Western Australia, Science in China (2001) 投稿中
 - J. Ishida, K. Tahara, H. Hamano, T. Kojima; Evaluation of the Permeability and the Water Retention Capacity of Soil Mixed with Various Soil Conditioners, Science in China (2001) 投稿中
- (2) 特許出願
なし