

(様式第9 別紙2：公開版)

## 養成技術者の研究・研修成果等

1．養成技術者氏名：松本 剛

2．養成カリキュラム名：乾燥地におけるCO<sub>2</sub>固定植林およびバイオマスエネルギー評価

3．養成カリキュラムの達成状況

本カリキュラムは計画通り行われている。また、本カリキュラム遂行により、研究成果を原著論文としてまとめ学会誌へ論文1報投稿し、掲載決定した。また、インドで行われた沙漠工学に関する国際会議で論文1報が受理され、その研究成果を発表してきた。これらの点では、予定通りであり、さらにこの学会発表の後、ある研究者からは、上記の成果論文およびこれ以外の論文コピーを頂きたいとの要望もあった。これらの点から達成状況は、予定通りもしくはそれ以上であると考えている。

4．成果

4.1 研究業務の概要

地球温暖化の最も重要な原因物質である二酸化炭素の大気中濃度削減法の一つとして、乾燥地における大規模植林による炭素固定が提案されている。対象乾燥地としてさまざまな地域が考えられるが、養成技術者および指導者らは西オーストラリア州レオノラ地域を研究調査対象地として選択した。レオノラ地域は典型的な内陸性乾燥気候を示しており、年平均降水量は約220mm/yと乏しい。また、場所的、季節的にも降水パターンは不規則であり、これらを予測することは非常に難しい。効率的な植林のためには、このわずかな降雨を有効に用いることが必要であるが、まれに観測される大雨の際には大量の雨水が表面流出し、塩湖に至る。また、表面流出しなかった雨水についても、樹木に用いられることなく蒸発してしまう量が多いと考えられる。

この地域における様々な調査研究が、養成技術者および指導者らのグループにより実施されてきた。これまでに、本地域における植林によるCO<sub>2</sub>固定量の定量的把握が行われてきた。また、CO<sub>2</sub>固定量と土壌の透水性、深度、栄養塩濃度値との相関も報告された。一方、上述の無駄に流出、蒸発している水を、樹木に有効に供給する手段を提案するためには、これらの樹種の水源を正確に推定することが重要である。しかしながら、どの樹種がどのような水源を用いているのかについては、未だ明らかにされてこなかった。

水の由来を定量的に推定する方法として、安定同位体比分析法が提案され、分析法の改善様々な因子の影響の考察もなされてきた。さらに、樹木についても、植物体中の水を抽出し、この分析結果と雨水のそれとの比較から、雨期の推定を行った例に加え、本研究と同様に樹木の水源を推定した論文、さらに、水源と植物の根の分布との関係についても、過去に報告されている。しかしながら、このような研究を乾燥地に適用した例はみられない。この理由は、対象地が乾燥地である場合には、現状では土地の経済的価値が低く水文学的研究の必要性が乏しいという理由からだけではなく、乾燥条件下でのサンプル取得が難しいことも一因と考えられる。

上記の観点から、本研究では、レオノラ地域に自然に生育する数種の樹種について、その水源の推定を試みた。フトモモ科ユーカリ属 *Eucalyptus. camaldulensis*(以下、*E.camaldulensis*と記す)は現地でも最も生育が早く、水条件がよい、すなわち乾期でも根域に利用可能な水が存在すると考えられる

クリーク(水路。ただし、乾燥地では通常は枯れており、強降雨時のみ水が流れる)沿いに生育する。この樹種は、耐乾性、耐塩性を持つと言われている。塩性土壌においては、電気伝導度 40mS/cm (= 塩濃度約 2%、0.02g/cm<sup>3</sup>)まで生育可能といわれている。耐乾性については、降水量の少ない時期は、地下水を水源としていると推定している報告も見られ、乾燥地においても根の成長が早く、水が得られる土壌深くまで、また広域に根を伸ばすことができるためとも考えられる。

一方、当該地域に最も広く分布するマメ科アカシア属 *Acacia aneura* (以下、*A. aneura* と記す。)は、年降水量 200-500 mm/y、年間降雨日数 30~60 日の地域に広く生育しており、耐乾性を持った樹種である。ただし、耐塩性は有さないといわれている。

本研究では、上記の主要な 2 樹種に加え、これらの樹種との比較という観点からヤマモガシ科ハッケア属 *Hakea preissii* (以下、*H. preissii* と記す)およびモクマオウ科モクマオウ属 *Casuarina obesa* (以下、*C. obesa* と記す)も研究対象とした。*H. preissii* は、粘土層やローム層または砂丘によく見られ、樹木ではあるが、成木樹高は最大 2m 程度である。*A. aneura* と性質が良く似ており、耐乾性を持った樹種である。また、*C. obesa* は、*E. camaldulensis* および *A. aneura* の中間的な成長速度を有するとされ、現地にはまれな樹種であるが耐乾性が高いことから植林主要樹種の 1 つとして取り上げた。

本研究結果により、地下水を主たる水源としている樹種が確定されたならば、以下の植林戦略が可能となろう。すなわち、地下水脈が多く存在する地域であれば表面流出水を、あるいは地表において蒸発する水を積極的に地下水に導くことで、水資源の有効活用になると期待される。一方、地下水脈が無い地域への植林は、表層土壌水を主として用いる樹種を用いることとなり、水を灌水により人工的に与える際には、これらの樹種の主たる水源を特定した上で実施することで、水効率を上げることができる。

そこで、具体的に、現地の樹種が、どの水源(地下水や表層水)を利用しているか安定同位体比分析(D、<sup>18</sup>O)を用いて検討した。具体的に、(1) *E. camaldulensis* の水源推定、(2) *A. aneura* の水源推定、(3) *H. preissii* の水源推定、(4) *C. obesa* の水源推定、(5) 大規模な地下水流の把握の検討をそれぞれ行った。これらの結果を以下に記す。

#### 4.1.1 *E. camaldulensis* の水源推定結果

*E. camaldulensis* の結果については、枝、根の値には、方向や深さによる大きな違いは見られず、また根と枝の違いもはっきりとは見られない。また、これらの値(D = -46‰、<sup>18</sup>O = -5.9‰)は、周辺地下水である Doyles well の値とほぼ一致していた。一方、表層土壌水の結果とは異なった値を示した。これらの結果から、*E. camaldulensis* は、地下水を主な水源としていると考えられる。

また、*E. camaldulensis* が生育している表層土壌中には、他の Site で多く見られたハードパン(西豪州に広く分布する不透水層。シリカを主成分とし、鉄分、カルシウムを含むことも多く、これらの作用により堆積土壌が固化して形成されたとされている。)の存在は認められず、地下水を水源としているとの上記の推定とは矛盾しないことが分かった。*E. camaldulensis* が生育する地域は、降雨が起こればクリークに水が流れ、そのクリーク沿いの深層に水が溜まる地域である。通常、耐乾性が高いと言われている *E. camaldulensis* ではあるが、降水量 200mm 程度の本乾燥地域では、その中でも水条件のよい地域でしか生育していないことから、この樹種の育成のためにはこのような水条件で、さらには、根が地下水脈に到達するまでに十分な灌水などの手段を施すことが必要であると本研究で推定される。

尚、本結果中では Doyles well の地下水の D、<sup>18</sup>O 値は表層土壌水よりも低く、軽い水であるとの結果であることが分かった。降雨自身の同位体比には季節変動があることから、降雨後から長時間かけて集積したと思われる地下水の同位体比が、比較的直近に得られた雨水を反映する表層土壌水と大きく異なると考えられる。

さらに、一般的には、表層土壌水は以下の理由により地下水より重くなる傾向があるものと考えられる。すなわち、表層土壌水は、表面から浸透した雨水が蒸発することにより、雨水より重い可能性が高い。また、降雨開始直後の水が重い水であるとすれば、乾燥土壌に降り始めた雨はまず蒸

発するが、次いで乾燥土壌がこれを強い力で吸収する。一方、地下に浸透する水は、土壌が飽和状態になった後の比較的軽い水であると考えれば、地下水は雨水より軽くなると考えられる。

#### 4.1.2 *A. aneura* の水源推定結果

*A. aneura*の水源推定結果について記す。Site 2Aでの*A. aneura*が生育している土壌水は、深さ20cm付近でのみ抽出することができ、一方、Site 2Aに成育する*A. aneura*については、*E. camaldulensis*と同様に枝と根の同位体比には、試料採取深さによる大きな違いが見られないことがわかった。*A. aneura*の枝、根のDは約-30‰であり、<sup>18</sup>Oは約-5.0‰であり、これらの値は、表層土壌水の値と近い値となっている。一方、地下水とは大きく異なっており、更に、この地域のハードパンまでの深さは約40cmである。以上のことから主な水源が地下水とは考えにくく、水源としては、表層土壌水が最も主要なものとして考えられる。

#### 4.1.3 *H. preissii* の水源推定結果

*H. preissii*の水源推定結果について記す。Site 2Aに成育する*A. aneura*と同様に、水源が地下水とは言えないばかりではなく、その植物中の水は*A. aneura*よりさらに重い水となっていた。これは、降雨後に表層に存在した水を主に利用していたか、あるいは表層土壌水を用いていたが、蒸発によりSite 2Aより重い水となっていたと推定できる。

#### 4.1.4 *C. obesa* の水源推定結果

*C. obesa*の水源推定結果について記す。降雨前には*E. camaldulensis*に近い値を示していたが、降雨後はDの変化は小さいものの、<sup>18</sup>Oは一度軽い方向に動いた後、大きく重い方向に変化した。この樹種は成長が比較的速く、同様に根は*E. camaldulensis*に比して細く、多数が全体に密に広がっていることが確認されている。このことから、降雨によりまず雨水に反応して軽くなったが、乾燥に伴い重い方向に移行したものと考えられる。しかし、降雨前には、この値より軽い、地下水に近い値であったことを考えると、細かい根が状況に応じて水源を変えている可能性が示唆された。

#### 4.1.5 大規模な地下水流の把握

レオノラ地域の17カ所の井戸水と塩湖の水を採取し、これらの水の安定同位体比(D, O)、塩濃度および標高データの関係から地下水と水・塩の移動の検討を行った。その結果、レオノラ地域における2ヶ所の井戸水(Balkan well およびCross roads well)付近において、*E. camaldulensis*の植林地域に適していることが分かった。

#### 4.2 成果のまとめ

レオノラ地域に自生する主要樹種の枝、根中の水の値(D, <sup>18</sup>O)分析を用い、地下水や表層土壌水のそれと比較した。これから、現地で水条件の良い所に成育する*E. camaldulensis*は地下水、現地で最も生育している*A. aneura*は表層土壌水が、*H. preissii*については*A. aneura*よりもさらに表層の土壌水、*C. obesa*については、状況に応じて、表層水および地下水が主たる水源であることが推定された。これらの結果は、樹木の根分布測定、ハードパンの有無の観察結果とも良い整合性を示した。

また、水の安定同位体比(D, O)、塩濃度および標高データの関係から地下水と水・塩の移動の検討の結果、レオノラ地域における2ヶ所の井戸水(Balkan well およびCross roads well)付近において、*E. camaldulensis*の植林地域に適していることが分かった。安定同位体比分析により樹木の水源推定および地下水流の検討結果により、水条件に適した樹種を選択が可能、樹木に適した水条件を人工的に作り上げることができる。その結果、限られた水を効率的に利用し、最適な植林が可能となり、植林によるCO<sub>2</sub>固定の増加が期待できることが分かった。

5 . 成果の対外的発表等

( 1 ) 論文発表 ( 論文掲載済、または査読済を対象。 )

- (a)小島紀徳、**松本剛**、池田裕弥、加藤茂、濱野裕之、岡田直紀、坪山良夫、齋藤昌宏、安部征雄、高橋伸英、山田興一、 “安定同位体比分析を用いた豪州乾燥地域における樹木の水源推定に関する研究”, 水文水資源学会、 Vol. 16, No. 5, pp. 518- 526,2003.
- (b) **T. Matsumoto**, S. Katoh, S. Sinha, S. Kumar, Y. Abe, T. Kojima and K. Yamada, "Estimation of Water Behavior for Afforestation in Desert of Western Australia using Stable Isotope Analysis", Journal of Arid Land Studies (in Press).

( 2 ) 口頭発表 ( 発表済を対象。 )

- (a) **T. Matsumoto**, S. Katoh, S. Sinha, S. Kumar, Y. Abe, T. Kojima and K. Yamada, "Estimation of Water Behavior for Afforestation in Desert of Western Australia using Stable Isotope Analysis", 7th International Conference on Desert Technology, Nov., 2003.

( 3 ) 特許等の出願件数

なし。