

# 産業植林早生樹種の炭素固定量評価

(1) 西オーストラリアの *Eucalyptus globulus* 人工林

山田麻木乃<sup>1)</sup>・花水恭二<sup>1)</sup>・川添哲也<sup>2)</sup>・丹下 健<sup>3)</sup>・森川 靖<sup>2)</sup>

## はじめに

地球的規模の温暖化原因として二酸化炭素濃度の上昇が問題となっており、温暖化防止対策としての二酸化炭素放出量の削減が気候変動枠組条約を受けた京都議定書で盛り込まれている。議定書では、化石燃料消費の抑制量を評価するうえで、新規植林や再植林等による二酸化炭素吸収量を評価に加えることが了承されたが、これらの森林の二酸化炭素固定量の情報はほとんどないのが現状である。

これまで、森林の二酸化炭素吸収量評価は、バイオマス及び純一次生産量の把握から行われてきたが、多くの情報は国際生物学事業 (IBP) 時代にえられた北アメリカ、ヨーロッパ、日本に集中しており、他の地域での情報は極めて少ない。そこで、本調査は、現在、海外で精力的に行われている早生樹種の植林地を対象とし、これら植林地の炭素固定量を明らかにし、森林の吸収源評価の基礎資料を得ることを目的とした。

なお、本調査は、通商産業省が社団法人海外産業植林センターに委託した「産業植林の CO<sub>2</sub> 固定化評価等に関する調査研究」によって行われた。調査にあたっては、丸紅株式会社、西豪州 Bunnings 社に大変お世話になった。ここに厚くお礼申し上げる。

## 対象林地

豪州 Bunnings Tree Farms 社が所有する Blue gum (*Eucalyptus*

YAMADA, Makino, HANAMIZU, Kyoji, KAWAZOE, Tetsuya, TANGE, Ken & MORIKAWA, Yasushi : Carbon Stock in Fast-Growing Tree Species (1) *Eucalyptus globulus* Man Made Forest in Manjimup, Western Australia

<sup>1)</sup> (社)海外産業植林センター、<sup>2)</sup> 早稲田大学人間科学部、<sup>3)</sup> 東京大学大学院農学生命科学研究科

*globulus*) 人工林 (放牧跡地の植林) を対象とした。林齢は、伐期に近い 8 年生, 成長経過調査のために, 2 年生, 5 年生の林分を選んだ。当初, 10 年生植林地を調査地としたが, 対象林地が間伐直後の林地であったため, 10 年生林地で伐倒調査を行い, 得た結果を 8 年生の毎木調査地にあてはめた。調査地の名称及び位置を以下にしめす。

2-year-old, Nieman Forest 東経 116°04'35.47" 南緯 34°13'18.57"

5-year-old, Channybearup Forest 東経 116°05'21.78" 南緯 34°19'28.99"

8-year-old, Wren Forest 東経 116°01'51.20" 南緯 34°11'01.66"

植栽間隔は 2×4 m (1,250 本/ha) であった。なお, 2 年生植林地の植栽木は幼齢段階にあり, 葉形が成熟葉と異なっていた。また, 林冠は閉鎖していなかった。

### 気象概要

当該地域は夏季少雨, 冬季多雨の地中海性気候に属する。年間平均降水量は 1,024 mm で, 最暖月 (1 月) の平均最高気温 27.6°C・平均最低気温 13.4°C (雨量 20 mm), 最寒月 (7 月) 平均最高気温 14.2°C・平均最低気温 6.6°C (雨量 180 mm) である。

### 植林概況

当該地域は 20~30 年の放牧が行われた後の植林地である。傾斜はほとんどないか, あっても極めて緩やかであった。植林は 4 月はじめに地ごしらえ (マウンディング) を行い, 6 月の雨季頃に除草剤散布後, 6 月下旬~7 月下旬にかけて植え付けを行うのが当該地域での一般的な方法である。また, 地ごしらえは大型のトラクターに器具を装着し, 4m 間隔でおおよそ深さ 50 cm, 幅 2 m を耕耘し, 高さ 30 cm ほどのマウンドをつくっている。

植え付けは筒状の植え付け器具を用いて人力で行われる。1 m 位の筒の上部から苗をいれ, 下部にあるペタルを踏み込んで植え付ける。通常, 2×4 m, 1,250 本/ha で, 1 人 1 日 5,000 本植える。植え付け 3 人に対して 1 人の苗運搬人がつく。

植え付け時に 17% の窒素を含む商品名 Agras を 100 g/本の割合でマウンドの下 20 cm 付近に施肥する。その後 15 か月後に 51 kg/ha の追肥 (硫酸アンモニア: 塩化カリ=4:1) をマウンドの両側に行う。

## 測定法

地上部バイオマスは、伐倒試料木9本について、0, 0.3, 1.3, 2.3 mの高さ及びそれ以上では2m間隔で玉切りにする現存量測定を求める常法（層別刈取法）によった。ただし、枝条もこの間隔で切り、生産構造評価を行った。根系はブルドーザー等による抜き取りによったが、細根等の回収は行わなかったため、根のバイオマスについては低めの値になっている。

バイオマス推定のための試料の乾燥は、送風乾燥機で80°C 2日間（根、幹については4日間）を行った。

土壌の炭素量は、設定試験地内（20×20 m）の5か所のサンプリング調査から求めた。土壌試料は、深さ0～5 cm, 5～10 cm, 10～20 cm, 20～30 cmから採取した。5か所のうちの1か所については、さらに30～50 cm, 50～70 cm, 70～100 cmからも土壌試料を採取した。土壌試料の化学分析はCBSPとChemistry Centreに依頼した。

### バイオマス及び純生産

毎木調査の結果から、植林地では林齢がすすみ、8年生になると、個体間の成長差が大きくなるが、その直径分布にかたよりが生じ、小径木より大径木の本数割合が多くなる傾向にあった（図1）。また、2年生での本数密度が植栽密度より低かった（表1）がこれは、まだ林冠が閉鎖していなかったこともあって、個体間競争よりも植栽時の枯損と考えるほうが妥当のようだ。5年生と8年生で本数密度がかわらな

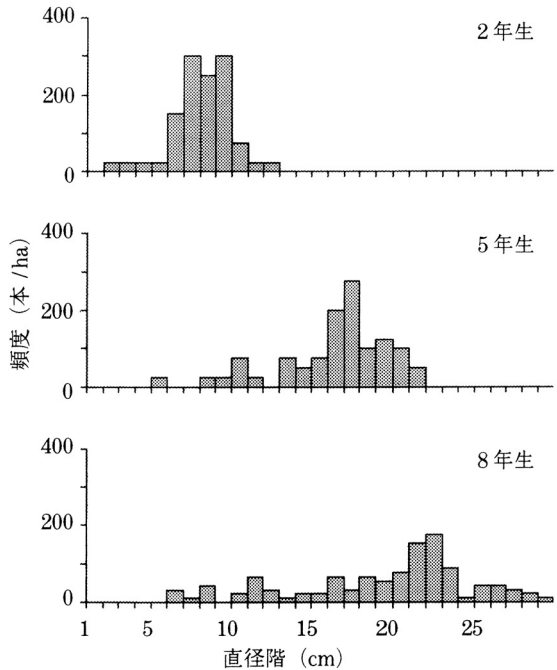


図1 2, 5, 8年生各林分の直径分布

表 1 ha 当たりの諸量

林齢 (年)	2	5	8
初期密度 (/ha)	1,250	1,250	1,250
現在密度 (/ha)	1,140	1,225	1,225
平均胸高直径 (cm)	8.2	16.4	19.3
断面積合計 (m <sup>2</sup> /ha)	6.7	26.9	36.2
バイオマス (乾重 t/ha)			
幹重量	13.7	110.5	186.9
樹皮重量	3.7	18.6	26.9
枝重量	4.4	17.0	22.7
葉重量	6.1	16.9	20.4
地上部全量 [tC/ha]	28.0 [12.3]	163.0 [71.7]	256.9 [113.0]
根重量	4.2	24.4	37.0
植物全量 [tC/ha]	32.2 [14.2]	187.4 [82.3]	293.9 [129.3]
幹材積 (m <sup>3</sup> /ha)			
皮つき材積	32.3	246.2	408.9
皮なし材積	26.4	203.2	338.6
葉面積指数	5.3	7.0	8.3
年平均成長量			
地上部全量 (乾重 t/ha・年)	14.0	32.6	32.1
植物全量	16.1	37.5	36.7
皮つき材積 (m <sup>3</sup> /ha・年)	16.1	49.2	51.1
皮なし材積	13.2	40.6	42.3

1 乾重 t=0.44 tC

いことから、2×4 m の植栽密度は本種にとってそれほど過密ではなく、伐採時までに個体間競争で枯れる個体はほとんどないと思われる。

今回の調査では、伐倒試料木について高さ別の器官量を測定し、林分の生産構造を明らかにした。植栽後 10 年を経過しても葉が分布する範囲は広く、樹高が 26 m と大きな個体でも 11 m~26 m の範囲に葉をつけていた。伐倒試料を得た 10 年生の林分は間伐直後であったので、間伐によって林床まで明るい光が届くようになった結果として下部まで葉をつけていたとは考えにくい。樹冠長が長い原因として、本種の葉が水平葉ではなく、垂れ下がった状態で着葉し、光が樹冠の下まで到達しやすいためと考えられる。

試料木の諸元量 (表 2) から、胸高直径の自乗と各器官量との相対成長関係

表 2 試料木の諸元

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
樹齡 (年)	10	10	10	10	5	5	5	2	2
樹高 (m)	26.2	23	26.4	24.4	19.5	18.4	16.8	7.5	7.8
胸高直径 (cm)	22.8	15.7	27.8	19.9	16.0	16.4	12.4	7.7	8.1
乾重 (kg)									
幹	230.4	102.1	316.8	163.1	71.2	69.6	33.7	7.9	8.7
樹皮	32.6	11.6	52.8	21.6	16.0	12.1	8.9	2.4	2.9
枝	32.4	7.2	44.5	24.5	10.0	11.6	6.6	5.1	2.9
葉	28.4	8.1	32.8	20.8	13.0	12.9	6.7	7.8	3.9
根	49.5	15.1	69.7	35.5	16.4	19.9	6.6	3.6	2.9
地上部	323.8	129.0	446.9	230.0	110.2	106.2	55.9	23.2	18.4
全量	373.3	144.1	516.6	265.5	126.6	126.1	62.5	26.8	21.3
幹材積 (m <sup>3</sup> )									
皮つき	0.480	0.196	0.711	0.322	0.173	0.176	0.087	0.017	0.021
皮なし	0.387	0.163	0.608	0.260	0.137	0.146	0.075	0.014	0.017

(表 3) を求めた。植栽密度が同じなので、2, 5, 10 年の結果をまとめて解析したが、いずれも相関の高い相対成長式を得ることができた。この結果から、本数密度がかわらなければ、この相対成長関係は西豪州 Manjimup 周辺の植栽林に適用可能である。すなわち、各植栽林の直径測定がおこなわれていればこの相対成長関係を利用して、*E. globulus* 植栽林のバイオマス評価が可能である。

各林分のバイオマスの違いからバイオマスの増加量の経年変化をみると、2～5 年の増加量が 5～8 年の増加量よりも大きかった (表 1)。すなわち、本種の成長は初期成長が大きい特徴をもっている。したがって、実際に 8～10 年の伐期で資源確保を行っていることは、土地利用の面から有効である。しかし、短伐期は土地生産力の低下につながることから、2 代目や 3 代目の林地や植栽から伐採のローテーションの違う林地でのバイオマス調査が今後必要となろう。

地上部全体の年間成長量は 2 年生で 14t、5 年生で 33t、8 年生で 32t であった。8 年生での皮付き幹材積はおよそ 400 m<sup>3</sup> で (表 1)、この量は本種の最大値に近いとみなされる。他の土地条件の良い立地で得られたデータ (表 4) と比べても遜色ない結果である。

林分の葉面積指数は 8 年生で 8 と大きな数値であった。温帯林で得られている広葉樹林では 4～6 であり、このような葉面積指数の大きさが大きな成長量をもつ原因と考えられる。大きな葉面積指数をもつ原因として、林分の生産構

表 3 相対成長式  $Y = aX^b$  の各係数 a 及び b の数値

X = (胸高直径の自乗,  $\text{cm}^2$ ),

Y = (材積,  $\text{cm}^3$  あるいは乾燥重量, kg)

	a	b	$r^2$ (相関係数)
材積	37.810	1.480	0.991
皮つき材積	47.690	1.473	0.992
幹重量	0.017	1.513	0.983
枝重量	0.057	0.976	0.878
葉重量	0.226	0.733	0.814
樹皮重量	0.021	1.166	0.987
根重量	0.015	1.272	0.974
地上部全量	0.111	1.258	0.984
植物全量	0.127	1.260	0.985

造で述べたような着葉の性質, 垂れさがった葉, の特性が考えられる。

### 土壌炭素量

調査対象林地での深さ 1 m までの鈳質土壌の炭素量は, 83~96 t/ha であり, その 56~69% が深さ 0~30 cm までの層位に含まれている (図 2, 3)。また, 土壌炭素量はバイオマス炭素量のおよそ半分であった。

表 4 本調査結果 (オーストラリア) と他調査地の *E. globulus* のバイオマス (林分幹材積) と年平均成長量の比較

オーストラリア (密度: 1,250 本/ha)			
林齢 (年)	2	5	8
バイオマス ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )	32	246	408
年成長量 ( $\text{m}^3/\text{ha} \cdot \text{年}$ )	16	49	51
ポルトガル, 地位 I (密度: 1,100 本/ha)			
林齢 (年)	2	5	8
バイオマス ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )	20	140	280
年成長量 ( $\text{m}^3/\text{ha} \cdot \text{年}$ )	10	28	35
ポルトガル, 地位 II (密度: 1,100 本/ha)			
林齢 (年)	2	5	8
バイオマス ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )	12	88	194
年成長量 ( $\text{m}^3/\text{ha} \cdot \text{年}$ )	6	18	24
ポルトガル, 地位 III (密度: 1,100 本/ha)			
林齢 (年)	2	5	8
バイオマス ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )	6	46	120
年成長量 ( $\text{m}^3/\text{ha} \cdot \text{年}$ )	3	9.2	15

出典. (財)国際緑化推進センター (1996), 熱帯林の成長データ

\* ポルトガルにおける地位 I, II, III は 10 年生の時の樹高がそれぞれ, 平均 27, 23, 19 cm となるような林分である。

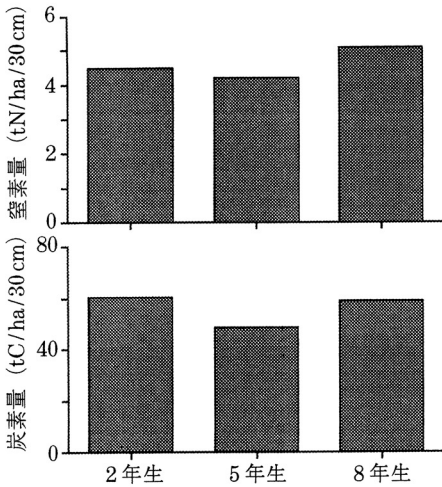


図 2 各林齢の土壤窒素・炭素含有量

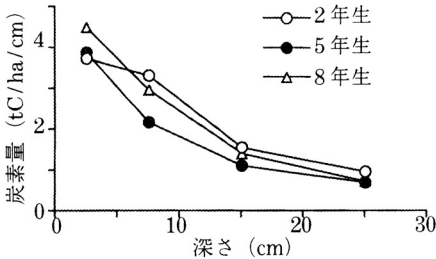


図 3 各林齢の深さごとの土壤炭素含有量

### おわりに

今回の調査結果から、*E. globulus* は短期間（10年以内）に高い炭素固定機能を発揮し、土地に多量の炭素を貯留する機能が期待される。しかし、高い固定機能の発揮には土地生産力が大きな限定要因となる。このことは、高い土地生産力の地域は農地として、あるいは牧草地として利用されており、炭素固定機能としての林地と競合する。特定地域の土地利用計画に、農地、牧草地、木材資源及び炭素貯留機能としての林地の配置計画を明確にしていくことが重要であろう。したがって、今後、対象とする植林計画地域について、植林地の炭素固定機能の予測ばかりでなく、土地の利用状況や社会・経済的な背景も考慮し

DIXON ら（1994, Science 263: 185~190）がとりまとめた中緯度地域の森林土壌の炭素量（Ao層含む、深さ1mまで）は96t/ha、オーストラリアの森林土壌の炭素量は83t/haであり、今回の調査結果は、それよりやや多い値である（ここでの値にはAo層の炭素量が含まれていない）。

林齢と土壤炭素量との関係は明確でない。これは、同じ林での経時変化を調べていないので、場所の違いによる元々の炭素量の違いが大きく影響したためであろう。

深さ0~5cmと5~10cmの炭素量の違いが、2年生林分で小さく、5年生林分と8年生林分で大きいこと、林齢が高いほどAo層が発達していたことから、林の発達にともない土壤炭素量の増加が起きているようである。しかし、地上部の炭素増加量に比べると、無視できる程度の量である。

た予測を加えていく必要がある。

成長量がある程度止まってくる前に伐採利用して若返りを図り、炭素固定機能を維持する場合、土地生産力の低下が懸念されるので、伐期サイクルと土地生産力に関する調査が今後必要である。

---