

## 植林による半乾燥塩害農地の水収支改善効果の検討

菅沼 秀樹<sup>\*1</sup>, 稲葉 康介<sup>\*2</sup>, 濱野 裕之<sup>\*3</sup>, 黒澤 勝彦<sup>\*4</sup>, R.J. Harper<sup>\*5</sup>, 小島 紀徳<sup>\*6</sup>

### Water Balance Improvement by Afforestation for Farmland with Saline Problem in a Semi-arid Area in Western Australia.

Hideki SUGANUMA<sup>\*1</sup>, Kosuke INABA<sup>\*2</sup>, Hiroyuki HAMANO<sup>\*3</sup>,  
Katsuhiko KUROSAWA<sup>\*4</sup>, R.J. Harper<sup>\*5</sup>, Toshinori KOJIMA<sup>\*6</sup>

**ABSTRACT:** In Western Australia, food production was gradually declined because of salinity problem. This salinity caused by ascending ground water table, which was caused by conversion from forest to farmland in wheat belt area over two centuries. To avoid salinity problem in this area, agro-forestry is one of the choice for improving this situation. When agro-forestry will be applied, trees will be planted in some part of farmland, and these trees will uptake ground water, which decline water table. At the same time, these trees will stock carbons inside their body from atmospheric CO<sub>2</sub>. So agro-forestry is good method for countermeasure to salinity problem and green house effect, but no one has criteria how large area will be converted to forest from farmland. Thus, in this study, based on water balance analysis, we aimed to establish water balance estimation model for designing agro-forestry for farmland of Western Australia.

**Keyword :** afforestation, carbon sequestration, tree biomass, transpiration, water balance analysis

(Received March 31, 2010)

#### 1. 緒言

地球温暖化対策として想定される対策は大きく分けて2つあり、一つは新たな温室効果ガスの発生を抑える手法、もう一つは大気中の温室効果ガスを回収する手法である。前者は燃料電池や太陽光発電などであり、後者はCCS (Carbon Capture and Storage) や植林である。

植林は、陸域の植物によって大気中のCO<sub>2</sub>を吸収し、固定する方法である。ただし、UNFCCC<sup>1)</sup>にもLeakageとして定められているように、いくら植林によってその土地に炭素が固定されていても、植林活動に伴って他の炭素の排出源となる活動が誘発されてしまえば意味が無い。また、温暖化対策の植林といえども、現段階では食糧生産より優先する事項とは考えがたく、食糧安全

保障の観点から食糧生産に使用可能な土地に植林することは問題がある。よって、温暖化対策植林は食糧生産と競合しない地域の土地を利用したり、既に放棄された土地を利用したりして、候補地の選定を慎重に行わなくてはならない。

そこで、我々は植林候補地としてオーストラリア大陸に注目した。オーストラリアでは、ヨーロッパ人による開拓時代からユーカリの原生林が切り開かれて、様々な産業に利用されてきた。その中でも農地造成のための森林伐採は非常に大規模で行われ、西オーストラリア州のWheat beltと呼ばれる地帯は全てそのような土地である。近年、この森林を切り開いた農地全体で地下水位の上昇が確認され、その地下水が塩分を多く含んでいたため、塩害の被害が広がり、農業生産の低下が問題視されている<sup>2), 3)</sup>。この地下水位の上昇による塩害の拡大は、今後進行することが予想されているため、早期に対策を取る必要がある。既に現段階で多くの農地が耕作放棄地として存在している。

西オーストラリア州のWheat belt地帯での地下水位の

\*1: 成蹊大学理工学部 助教(h.suganuma.yf19.frx99@gmail.com)

\*2: 成蹊大学理工学部修士学生

\*3: 科学技術振興機構 研究員

\*4: 成蹊大学理工学部 特別共同研究員

\*5: Murdoch University 教授

\*6: 成蹊大学理工学部 教授

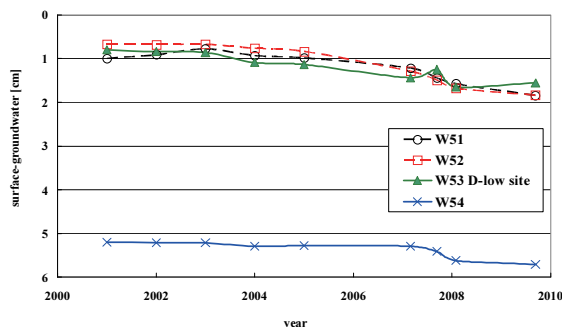


Fig. 1. Ground water depth change from 2001 in the research area.

上昇は、この地域での水収支の不均衡が原因と考えられている。それは、元のユーカリ林では降雨による水供給と樹木による水使用が均衡していたが、伐採して農地に転換することによって、植物の水使用量が減少し、余った雨水が地下に貯留されたためである。日本のように急峻な地形では地下水は傾斜に沿って流れ去っていくが、古大陸で起伏に乏しいオーストラリアでは地下水の移動は少なくその土地に残留する。よって、地下水位上昇を防ぐためには、その土地の地下水を排出する必要がある。

余剰地下水を排出する手段の1つとして、植林が挙げられる<sup>4)</sup>。これは、農地の一部や耕作放棄地を植林地にすることによって、樹木が地下に張り巡らした根から地下水を吸い上げて葉から蒸散させる。この樹木による蒸散量は農作物による蒸散量より多いため、降雨による水供給より樹木と農作物による水使用量が多くなることによって、地下水が低下する。一度地下水がある一定水位以下に低下すれば、塩害の危険性は回避できるため、有効な手段と予想されている。

2001年より The Forest Product Commission (FPC) が中心となって西オーストラリアの塩害地域 (Wickepin: 117°40'E, 32°44'S) で植林実験を開始した。ここの植林は、アグロフォレストリーとあって、農地の全てを植林地に転換するのではなく、農地の一部を植林地に転換して、農業生産を持続させるように樹木を植える方法である。この植林によって Fig. 1 に示すように、植林後 7~8 年目で地下水の低下が観測された。これにより、塩害によって収穫が低下したり放棄されたりした農地に植林を実施すれば、農業生産低下の回避と同時に、植林による炭素の固定が達成可能である。よって西オーストラリア州の Wheat belt 地帯では、塩害の影響を受けている農地を植林対象地として有効に利用できると考えた。

ただし、放棄農地を使用する場合は問題が無いが、現在能力は低下しているが作物の生産できる土地を農地に

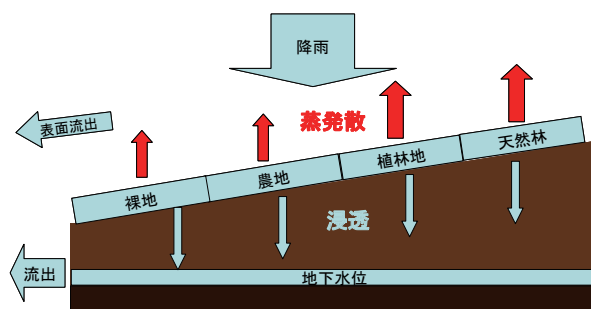


Fig. 2. Conceptual image of water balance analysis.

転換する場合は、植林地に転換した面積分の農作物の収量が低下する。塩害回避を短期間で成し遂げ、炭素固定量を多くするためには、できるかぎり多くの面積を植林地にしたほうが良いが、農業生産の維持という観点からは、農地から植林地への転換を最小限に抑えなければならない。そのためには、農地の転換面積と地下水位低下効果を事前に検討するために材料が必要となる。

そこで我々の研究グループでは、農地の転換面積と地下水位低下効果のバランスを検討するための水収支シミュレートモデルの構築が必要と考えた。現状では経験的な推定で植林地面積を予想されるため、不確定要素が非常に多い。しかし、このシミュレートモデルを用いて事前検討することによって農地の植林地転換をする際に、より少ない面積で地下水位低下を成し遂げると共に、その少ない面積の中で最大の炭素固定量を得ることが可能になると考える。

本研究では、まずそのプロトタイプとして、塩害対策植林の水収支を Fig. 2 のような要素に分け、現在の対象地<sup>4)</sup>にて得た観測データを用いて、地下水位低下が観測された状態の水収支を計算した。今回はその結果を報告する。

## 2. 解析手法

### 2.1 対象地概要

本研究では、半乾燥地である Western Australia (WA) の Wickepin 近郊の Martin 農場 (117°40'E, 32°44'S) 内の章流域を調査サイトとした。Fig. 3 に示されるように、図中の白い半透明の領域が、等高線図から判別した農場内の小流域であり、79.1 ha ある。この流域内で、植林地が 17.1 ha、天然林が 11.4 ha、裸地が 2.6 ha、農地が 48.0 ha であった。

Wickepin の年平均降水量は約 320 mm/year、年間可能蒸発散量は約 2600 mm/year である。西オーストラリア南西部は、冬季多雨型で夏は日ざしが強く、可能蒸発散量

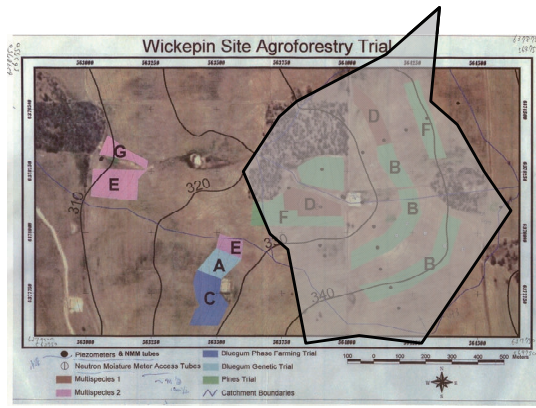


Fig. 3. Small watershed for the water balance analysis.

からもわかるように非常に乾燥する気候である。近年この周辺の農場でも、Short and McConnell<sup>2)</sup>の推定のように、地下水上昇による塩害・湛水害の被害が拡大している。

Martin 農場では、3 圃式農業を採用しており、農地を複数の区画に分け、それぞれの区画で小麦栽培、菜種栽培、羊の放牧を交代で実施している。植林区画では Sochacki and Harper<sup>5)</sup>によると、植林間隔 3×3 m で *Pinus radiata*, *Eucalyptus sargentii*, *E. globulus*, *E. occidentalis* の 4 樹種を中心に植林を行っている。その他に *Casuarina obesa*, *Acacia saligna*, *E. loxophleba*, *E. rudis*, *E. wandoo* などが植林されているが、面積が小さくほとんどの植林木が上記 4 樹種である。特に *P. radiata* が一番多い。これらの樹種は粘土質の土壌を深く掘り起こすリッピングという施工を施されて植林されている。

## 2. 2 炭素固定量計算

植林木の炭素固定量を計算するために以下の手法を採用した。全植林木のサイズを計測して炭素固定量を推定するのは非常に労働集約的な作業となるので、ある特定の区画をサンプル区画として計測し、その値を代表値として他の区画に当てはめる手法をとった。サンプル区画は、D-Low および D-high と名づけられた区画である。この区画内の樹木サイズを計測して、バイオマス量を推定し炭素固定量に換算した。このサンプル区画は前述した主な 4 樹種であるが、個体サイズからバイオマス量を推定するアロメトリー式が、年平均降水量 300 mm 前後の地域で報告されているのが *Pinus radiata* と *E. globulus* のみであったため、*E. globulus* のアロメトリーを他の 2 種のユーカリに当てはめた。

*P. radiata* と *E. globulus* のバイオマス推定式 (アロメトリー式) は以下のとおりである。まず *P. radiata* は

$$W = aD^b \quad (1)$$

で表される。ここで、a と b は回帰係数で実測値から得

Table 1. Coefficient of regression list for allometric equation of *Eucalyptus globulus*.

coefficient of regression	a	b	c
Stem	2.985	1.943	0.947
Branches	5.794	2.158	-0.881
Leaves	4.465	2.856	-1.119
Bark	2.348	1.487	0.692

られた経験値であり、a = 0.204, b = 2.15 である<sup>6)</sup>。W は樹木の乾燥重量 [g] D は地上高 1.3 m の樹木の幹の周囲長 [cm] である。この計算結果は樹木 1 本のみのデータであるため、全ての樹木の計算結果の総計が区画のバイオマス量になる。次に *E. globulus* は

$$\ln Y = a + b \ln X_1 + c \ln X_2 \quad (2)$$

で表される。ここで、a と b と c は回帰係数で実測値から得られた経験値であり、樹木の器官ごと (幹、枝、樹皮、葉) に Table 1 のように求められている<sup>7)</sup>。

Y は単位面積当たりのバイオマス量 [t ha<sup>-1</sup>] X<sub>1</sub> は地上高 1.3 m の樹木の幹の周囲長 [m], X<sub>2</sub> は樹高 [m] であり、1 ha あたりの立木密度が 430 - 1250 の範囲の森林に適用できると記載されている。対象地は 1111 ha<sup>-1</sup> であるので十分に適用範囲内である。器官ごとに求められたバイオマス量を加算して区画全体のバイオマスを計算した。なお、これは 1 本のデータで区画全体のバイオマスが求まってしまうため、本研究では全ての木にて同様の計算をし、計算された区画バイオマスの平均値を用いた。

D-Low および D-high の区画のバイオマスデータを他の植林区画に当てはめることによって、植林地全体の炭素固定量を計算した。なお、樹木による炭素固定量は、経験的に乾燥重量 (バイオマス) の半分とされている<sup>8), 9)</sup>。

## 2. 3 水収支解析

Fig. 2 に示したように、本研究では流域内の水移動を 11 の要素に分解した。ただし、この中で表面流失は、対象地内のシリンダーインタープレート試験結果により、土壤中への水の浸透速度が 0.05 ~ 0.4 mm s<sup>-1</sup> であったため、1 時間あたり数 mm の降雨では全て浸透してしまうことがわかった。降雨強度の高い豪雨の場合には浸透しない水が存在するが、通常は発生しないことが予想された。よって、表面流出の項目は微量として検討項目から除外した。また、地下水の流出も起伏に乏しい土地であるため、こちらも微量として除外した。なお、このように微量として表面流出と地下水流出を無視すると、

鉛直方向の1次元で対象流域内の水移動を表現できる。つまり、鉛直上向きをプラスととった場合、それぞれの水収支の合計がプラスなら地下水位が下がり、マイナスなら地下水位が上がるという関係になっている。以上より、9の要素の水移動量を本研究では検討し、鉛直方向の水収支がプラスかマイナスかを評価した。

まず1つ目の要素である降雨データは Department of Agriculture and Food (<http://www.agric.wa.gov.au/HOME>) の Wickpin Station (117°28'E, 32°32'S) の 1998-2009 年に取得されたデータの平均値を用いた。

次に4つある蒸散データは、要素ごとに異なる計算を行った。まず裸地であるが、上述の Wickpin Station で観測された裸地の可能蒸発散量のデータの 1998-2009 年の平均値 (1877.1 mm/year) を用いた。ただし可能蒸発散量は蒸発散量のポテンシャル値であるため、実際の値はここまで大きくない。しかし実測データが存在しないため今回はこのデータで代用した。

次に農地の蒸発散量であるが、これは対象地の小麦の収量 [kg ha<sup>-1</sup>] と水利用効率 (WUE) [kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>] から計算した。Martin 農場の農業主より、現地の小麦の平均収量は 1900 kg ha<sup>-1</sup>, Anderson and Garlinge<sup>10)</sup> より WUE = 7.3 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> であった。この値から 1 ha あたりの水使用量を求め、さらに耕作面積をかけることによって、農地の蒸発散量を推定した。

次に植林地の蒸発散量は植林樹木 4 樹種 (*Pinus radiata*, *Eucalyptus sargentii*, *E. globulus*, *E. occidentalis*) に TPD (Thermal Dissipation Probe) センサーを設置し、そのデータを Granier 法<sup>11), 12)</sup>によって解析して樹木単体の蒸散量を推定した。なお、それぞれの樹種は3本ずつセンサーを設置したので、解析結果にはその平均値を用いた。また、本研究にはセンサーの計測データは 2006 年の 1 年間分のデータのみ用いた。Granier 法は TDP センサーの値から以下の式を用いて樹木の幹を流れる水(樹液流)の量を推定する手法であり、センサーはその樹液流によって損失する熱量を計測している。

$$K = [\Delta T_{\max} - \Delta T(u)] / \Delta T(u) \quad (3)$$

$$u = 1.19 \times 10^{-4} K^{1.231} \quad (4)$$

$$F = u \times SA \quad (5)$$

ここで、K は  $\Delta T_{\max}$  および  $\Delta T(u)$  から決まるパラメータ。 $\Delta T_{\max}$  は樹液流 0 の時のセンサーの温度差 [K],  $\Delta T(u)$  は樹液流速  $u$  [m s<sup>-1</sup>] の時の温度差 [K], SA は幹の中で樹液流の通る部分の断面積 [m<sup>2</sup>], F は樹液流量 [m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>] である。Granier 法は経験則であるため、対象の樹木でこのパラメータでよいかどうか精密に検討されていないが、本研究では既報を元に経験則が対象の4樹種にも当ては

Table 2. Biomass estimation results in afforestation sites.

Site	Species name	Total biomass [t ha <sup>-1</sup> ]	Survival ratio [%]
DH	<i>E. globulus</i>	39.5	91.9
	<i>E. occidentalis</i>	22.5	100.0
DL	<i>E. globulus</i>	17.0	52.6
	<i>E. occidentalis</i>	18.7	96.9
	<i>P. radiata</i>	19.7	87.7

まると仮定して計算を行った。また、上記4樹種以外の植林区画は、ほぼ全てユーカリであるので、ユーカリの3樹種の平均値を用いて代用した。

次に天然林の蒸散は *E. sargentii* の極相林であるが、この樹種の計測結果が存在しないため、擬似的に *E. globulus* の値で代用した。

最後に地下の浸透量であるが、これは降雨からそれぞれの土地から蒸散量を引いた値が全て浸透に使われるとみなした。

以上の計算によって、対象流域内の水収支がプラスであるかマイナスであるかを検討すると共に、その結果からどの樹種を植えるのが効果的かを考察した。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 樹木による炭素固定量

D-Low および D-high の区画のバイオマスデータと生存率が Table 2 のように求められた。なお、*E. sargentii* の測定データが明らかに異常値を示したため、表からは除外した。この表より、*E. globulus* は塩害の影響のほとんどない D-high の区画では非常に良い生存率とバイオマス量を示した。しかし塩害の影響がある D-Low 区画では、生存率が約 50%に低下して非常にバイオマス量が少なくなった。それに対して *E. occidentalis* は生存率がほとんど低下しなかったため、樹木 1 本あたりのバイオマスは小さくとも区画のバイオマスは *E. globulus* よりも上回った。また、*P. radiata* は D-Low 区画のみでしか計測されていないが、こちらも高い生存率であったため、*E. occidentalis* と同様の傾向があると予想される。

以上のことから、炭素固定の観点からは、塩害の影響の少ない地域を農地から植林地へ転換する場合は *E. globulus* が優れるが、塩害の影響を受けている地域を農地から植林地へ転換する場合には、*E. occidentalis* や *P. radiata* が適切だと考えられた。また、*E. sargentii* は塩害に強い樹種だとされており<sup>13)</sup>、現地に元々生存している樹種であることから、データを再検討もしくは再取得することによって、*E. occidentalis* や *P. radiata* より適切な

Table 3. Evaporation amount estimation results of planted trees.

	Evaporation amount			
	<i>P. radiata</i>	<i>E. sargentii</i>	<i>E. globulus</i>	<i>E. occidentalis</i>
Average [dm <sup>3</sup> day <sup>-1</sup> tree <sup>-1</sup> ]	8.24	13.1	7.41	12.1
Total [m <sup>3</sup> year <sup>-1</sup> tree <sup>-1</sup> ]	3.01	4.77	2.70	4.43
3×3 spacing [m year <sup>-1</sup> ]	0.334	0.530	0.330	0.493

樹種と判断される可能性もあるため、今後も検討をしていく。

ただし、純粋に炭素固定の観点から言えば、塩害の少ないサイトで *E. globulus* を植林する方が、他の樹種を植林した場合に比べて 2 倍以上のバイオマス量を確保している。よって同じ炭素固定量を得るためには、*E. globulus* を利用するほうが植林面積を最小限に抑えられると考えられた。

次に上記で得られた D-Low および D-high の区画のバイオマスデータを代表値として他の植林区画へ代入し、対象流域内の植林地全体のバイオマスを計算した。その結果、349.9 t のバイオマス、つまり 174.9 t-C の炭素が固定されたことがわかった。なお、この値を単位面積当たり、1 年間あたりの数値に修正すると、約 1.7 t-C ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> であることが分かった。これは CO<sub>2</sub> 換算では 6.3 t-CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> となるため、仮に排出権取引による炭素クレジットが 3,000 円 t-CO<sub>2</sub><sup>-1</sup> であるとする、毎年 1 ha あたり 19,000 円の炭素クレジットが発生することになる。これは、農業生産に比較すれば非常に少ない価格であるが、農地から植林地への転換によって農家が被る損失の穴埋めになると考えられる。もっとも、炭素クレジットの価格は大きく変動するため、こちらの予測は現状では困難である。

### 3. 2 流域内の水収支

まずは、対象地の代表的な植林樹木 4 樹種 (*Pinus radiata*, *Eucalyptus sargentii*, *E. globulus*, *E. occidentalis*) に設置した TDP センサーのデータ解析によって求められた、各樹種の蒸散量データを Table 3 に示す。これは D-Low 区画のデータである。D-high 区画のデータは欠損が多く解析に耐えなかったため今回の結果からは除外した。この結果より、樹種によって大きく値が異なることが分かった。とくに D-high 区画と比較して炭素固定能力も小さく生存率が低下していた *E. globulus* が、非常に小さい蒸散量であることが分かった。よって塩害のある地域で植えられた *E. globulus* は水の蒸散能力が低く、地下水位低下に貢献しにくいことが分かった。

Table 4. Results of water balance analysis.

	面積 [ha]	蒸発散量 [m <sup>3</sup> year <sup>-1</sup> ]	降水量 [m <sup>3</sup> year <sup>-1</sup> ]	水収支 [%]
植林地	17.1	6.47 × 10 <sup>4</sup>	5.36 × 10 <sup>4</sup>	120.7
天然林	11.4	3.43 × 10 <sup>4</sup>	3.57 × 10 <sup>4</sup>	96.1
裸地	2.6	4.95 × 10 <sup>4</sup>	8.15 × 10 <sup>3</sup>	607.4
農地(小麦)	48.0	1.25 × 10 <sup>5</sup>	1.50 × 10 <sup>5</sup>	83.3
対象流域全体	79.1	2.73 × 10 <sup>5</sup>	2.48 × 10 <sup>5</sup>	110.1

それに対して他の樹種、特に *E. sargentii* と *E. occidentalis* は、高い蒸散能力を示した。これは、両樹種が高い耐塩性を有していること<sup>13)</sup> に関係していると考えられる。Table 2 より、*P. radiata*, *E. sargentii*, *E. occidentalis* の 3 樹種のバイオマス量の差があまりないことから、塩害の影響のある農地を植林地に転換する場合は、*E. sargentii* か *E. occidentalis* を植林することによって樹木による蒸散量を増加させ、地下水位低下に貢献できると考えた。なお、植林地での現在の植林密度は約 1111 ha<sup>-1</sup> であり、単位面積あたりの蒸散量としては 4866 m<sup>3</sup> year<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> となるので、小麦の約 2600 m<sup>3</sup> year<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> に比べ、およそ 1.8 倍もの蒸散量を有しているということが分かった。

また、水利用効率が環境によって変化するため一概に論じることはできないが、成長量の大きい樹種は蒸散量も多い傾向がある。よって、D-high 区画で D-Low 区画の倍のバイオマス量を示した *E. globulus* は、塩害の影響を受けない地域であれば、倍の蒸散量を示す可能性もある。今後は D-high 区画で設置されている TDP センサーのデータ探索や解析を進め、正確な検討をしていくことが求められる。

次に流域全体の水収支を計算した結果を Table 4 に示す。この表より、鉛直上向きをプラスにとって水収支を計算した結果、収支がプラス 10% となったために、対象流域では降水量よりも蒸発散量のほうが大きくなり、地下水位が低下していることが示された。しかし、Table 4 の中に明らかに不自然なデータがある。それは、裸地の水収支が約 610% もの大きな値を示していることである。もしこれが正しい値であれば、農地を裸地に転換したほうが水収支が改善することになるが、それは非常に不自然な結果である。

この原因は裸地の蒸発散量の推定値に、可能蒸発散量を代用したことに起因する。可能蒸発散量は、その地域で 1 年間に地上から空気中へ放出される水分量のポテンシャルを表す値であるため、年平均気温が高くて乾燥している地域ほど高い値を示す。しかし、実際の土壌は非常に浅い地下水が存在しない限りは乾燥して不飽和状態となるため、可能蒸発散量の数分の一の量しか蒸発を起

こさない。よって、裸地の水収支は明らかに上方に過大評価されているため信頼性に欠ける。仮に裸地の蒸発散量を10分の1にすると、水収支は88%となり、今度は地下水位が上昇する結果となる。10分の1になるとは考えにくい、今後は裸地の蒸発量の正しい見積りの手法を組み込まなくてはならない。

しかし一方で、Table 4内の植林地、天然林の区画では、蒸散量は推定しているがそれぞれの区画の土壌表面からの蒸発量は計算に組み込まれていない。樹木の覆う区画は裸地と比較すれば蒸発量は少なくなるが、無視できない量になるためこちらの推定結果を考慮しなくてはならない。おそらく今回の推定結果は、裸地の過大評価分と、植林地と天然林での過小評価分と相殺されるか若干の過大評価となるため、水収支は100%前後になると考えられる。そのことはFig. 1で示した地下水位の変動からも読み取れる。2005年～2007年までの地下水位はあまり変化していないため、水収支はやはり100%前後であると考えられ、本研究で検討した水収支は妥当であったと考えられた。

#### 4. 結 言

本研究によって、今後更なる検討が必要ではあるが、半乾燥地の農地を植林地へ転換するための計画策定に必要な水収支モデルのプロトタイプを作成することができた。このプロトタイプモデルは、観測で得られた結果とある程度一致することが示された。今後は、不確実性の高いデータや解析手法の改善、変更を行い、より正確な水収支予測モデルの作成に取り組んでいく。

#### 謝 辞

本研究は三井物産環境基金の「食料生産が困難な乾燥地での植林による二酸化炭素固定とバイオマス生産・転換・輸送」と成蹊大学アジア太平洋研究センター共同研究プロジェクトの「アジア太平洋地域における乾燥地植林による二酸化炭素固定とバイオマス生産・転換」による支援を受けて実施された。ここに謝意を表す。

#### 参考文献

1) UNFCCC (2006): Guideline for completing CDM-AR-PDD and CDM-AR-NM.-Clean development mechanism guidelines for completing the project design document for A/R (CDM-AR-PDD), the proposed new

methodology for A/R: Baseline and monitoring (CDM-AR-NM) version 4. United Nation Framework Convention on Climate Change, 53p

- 2) Short R., McConnell C. (2000): Extent and Impacts of Dryland salinity -Project 1A-DAW29-, National Land and Water Resources Audit.
- 3) McFarlane D.J., Williamson D.R. (2002): An overview of water logging and salinity in southwestern Australia as related to the 'Ucarro' experimental catchment. Agricultural Water Management, Vol. 53.
- 4) Harper R.J., Robinson N., Sochacki S.J., Smettem K.R.J., Pitman L. (2008): Phase Farming with trees -Field validation of the tree phase-, Rural Industries Research and Development Corporation.
- 5) Sochacki S., Harper R. (2007): Report for the RITE-Forest Product Commission joint study at Wickepin, Western Australia, Project 2: Multispecies trial plots D and E.
- 6) Specht A., West P.W. (2003): Estimation of biomass and sequestered carbon on farm forest plantation in northern New South Wales, Australia. Biomass and Bioenergy, Volume 25-4, 363-379.
- 7) Emaus D., McGuinness K., Burrows W. (2000): Review of allometric relationships for estimating woody biomass for Queensland, the Northern Territory and Western Australia. National Carbon Accounting System technical report no. 5a.
- 8) Smithwick E.A.H., Harmon M.E., Remillard S.M., Acker S.A., Franklin J.F. (2002): Potential upper bounds of carbon stores in forests of the Pacific Northwest. Ecol. Appl. 12, 1303-1317.
- 9) Van Tuyl S., Law B.E., Turner D.P., Gitelman A.I. (2005): Variability in net primary production and carbon storage in biomass across Oregon forests - an assessment integrating data from forest inventories, intensive sites, and remote sensing. For. Ecol. Manage. 209, 273-291.
- 10) Anderson W.K., Garlinge J.R. (2000): The wheat book - principles and practice / compiled-. Bulletin of Western Australian Department of Agriculture, no. 4443.
- 11) Granier A., Biron P., Köstner B., Gay L.W., Najjar G. (1996): comparisons of xylem sap flow and water vapour flux at the stand level and derivation of canopy conductance for scots pine. Theoretical and applied climatology. Vol.53, 115-122.
- 12) 飯田真一・小林義和・田中 正 (2003) Granier法を用いた樹液流速の長期連続測定. 水文水資源学会誌.

Vol.16, 13-22.

- 13) Forest Product Commission (Publication year was not mentioned): Trees to fight salinity on farms. commonwealth of Western Australia ([http://www.fpc.wa.gov.au/content\\_migration/about\\_us/publications.aspx](http://www.fpc.wa.gov.au/content_migration/about_us/publications.aspx)).