

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 29 日現在

機関番号：32692

研究種目：基盤研究(A) (海外学術調査)

研究期間：2016～2020

課題番号：16H02764

研究課題名(和文)耐塩性蒸散促進樹種と耕作放棄農地を利用した塩害・湛水害対策用の植林システムの構築

研究課題名(英文) Establishment of a plantation system for salt and waterlogging damage control using salt-tolerant transpiration-promoting tree species and abandoned farmland

研究代表者

江頭 靖幸 (Egashira, Yasuyuki)

東京工科大学・工学部・教授

研究者番号：70223633

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,700,000円

研究成果の概要(和文)：西オーストラリアでの森林伐採に起因する地下水アンバランスが原因となった塩害・湛水害への対策を念頭に、塩害・湛水害の生じた農場内の耕作放棄農地への耐塩性蒸散促進樹種の植林の可能性を検討した。耕作放棄地内に設置した試験植林サイトではどの樹種も高い活着率を示した。土壌に塩分を含む耕作放棄地内での蒸散量の変化を樹液流センサーによる長期測定によって検討した。また、農地内の谷間にあたる部分に生じる塩湖状の領域周辺での地下水レベルについて検討し、周辺の地下水盆の水位が塩湖状領域よりも高い位置にあることを見いだした。これは耕作放棄地の面積が湧水と蒸散のダイナミックなバランスで決まることを示唆する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

西オーストラリアでの森林伐採に起因する地下水アンバランスが原因となった塩害・湛水害への対策として農耕地内に植林を行うことが有効であることは既に明らかになっているが、一部とはいえ農耕地を潰して植林を行う、という行為への抵抗感は依然として大きい。すでに耕作を放棄した場所への植林であれば受け入れやすいが、そのような土地でも植林可能な樹種がある、ということは実証的に示される必要がある。本研究では耐塩性蒸散促進樹種の生理的な特性と並んで、比較的規模の大きな耕作放棄地への植林を行うことで、有効性の実証のスタート地点に立つことができた。

研究成果の概要(英文)： The feasibility of planting salt-tolerant transpiration-accelerating tree species on abandoned farmland where salt and waterlogging damage has occurred was examined with a view to addressing the salt and waterlogging damage caused by groundwater imbalance resulting from deforestation in Western Australia.

All the tree species showed high establishment rates in the test afforestation sites established in the abandoned farmland. Changes in transpiration in abandoned farmland with salinity in the soil were investigated by long-term measurements using sap flow sensors. We also studied the groundwater level around the salt lake-like area in the valley of the farmland, and found that the water level in the surrounding groundwater basin was higher than that in the salt lake-like area. This suggests that the area of abandoned farmland is determined by the dynamic balance between upwelling and evapotranspiration.

研究分野：環境工学

キーワード：耐塩性樹種 塩害対策植林 湛水害対策植林 蒸散速度

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 豪州沿岸部の穀倉地帯ではセカンダリーサリニティという湛水害によって引き起こされた塩害(以下塩害・湛水害)により、耕作可能面積の減少が問題視されており、2050年までに1550万ha(我が国の耕地面積の約3.4倍)の耕作可能な農地が被害にあつて放棄されるリスクにさらされている(McFarlane and Williamson, 2002, Agric. Water Manage., 53, 5-29)。これらの地域は日本向けの小麦生産地域でもあり、その輸入割合は約20%に当たるため、我が国の食糧安全保障にとっても重大な問題である。

豪州沿岸部穀倉地帯の塩害・湛水害は図1のように、広大な原生ユーカリ林(例: *Eucalyptus marginata*)を皆伐して大規模農地に転換した結果(200年で天然林の約40%が農地転換: Bradshaw, 2012, J. Plant Ecol., 5, 109-120)、降雨と蒸発散のバランスが崩れたことが原因である。これによって一年生の農作物が使い切れない量の降雨が余剰水として地下水涵養され(例: 20~100 mm/y: Smettem, 1998, RAPPS02/98)、地下水面が

数十~百数十年かけて上昇した。地下水上昇の過程で深部土壤中に量が多いが留まっていたため以前は問題とならなかった塩類(50~5000 t/ha: McFarlane and Williamson, 2002)が溶脱されて地下水の塩濃度が上昇、その高塩濃度の地下水が地表面近くに到達したことで作物が生育障害を示し、この問題が顕在化した(Peck and Hatton, 2002, J. Hydrol, 272, 191-202)。

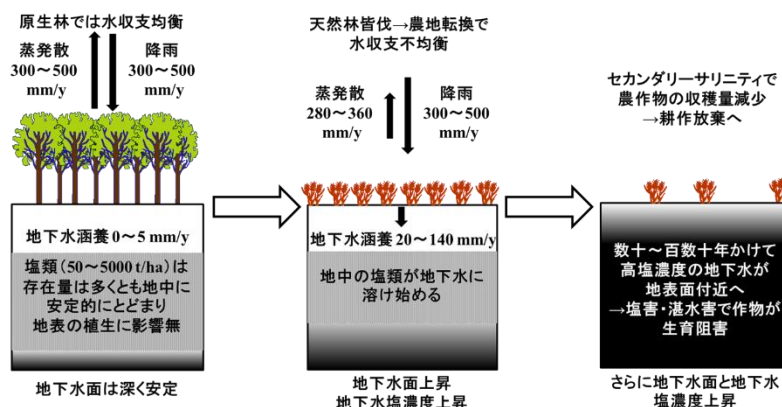


図1: 豪州沿岸部穀倉地帯のセカンダリーサリニティの発生メカニズム

(2) そこで図2に示すように耕作可能な農地の一部を植林地転換する手法が塩害・湛水害対策として採られた。この手法は深根性の木本植物を用いて、農作物が使い切れなかった余剰水を地下水面に到達する前に根に吸収させ、それを蒸散によって大気中に放出させ、降雨と蒸発散の水収支のバランスを取り戻すことで地下水面の上昇を抑え、これ以上の塩害・湛水害の拡大を防ぐものである。これまでに様々な方法論(植林区画の形状・配置、植林樹種、土質による適用可能範囲など)が提唱・検討されてきたが(例: Lefroy and Stirzaker, 1999, Agroforest. Syst., 45, 277-302)、全ての既存手法は耕作可能な農地を植林地に転換するため、対策植林によって塩害・湛水害の拡大を防ぐことで回避される将来の農業被害額よりも、耕作可能な農地を植林地転換することによる直近の機会損失額の方が上回り(いずれも現在価値ベースで比較: Flugge and Abadi, 2006, Agroforest. Syst., 68, 181-192; Graham et al., Australas. J. Env. Man., 17, 112-124)、対策植林の普及の最大の障壁となっている。

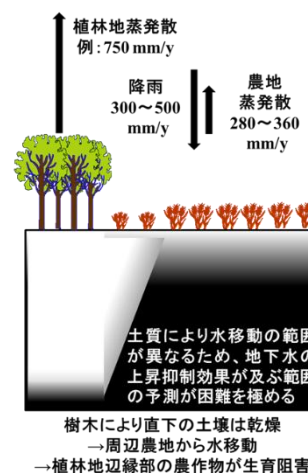


図2: 既往の塩害・湛水害対策植林模式図

(3) 本研究では、耕作可能な土地ではなく既に塩害・湛水害の顕在化によって放棄された農地の活用に着目し、高い蒸散量やバイオマス生産量を確保する観点から、塩生植物や耐塩生の灌木ではなく、耐塩生・耐湛水性の高い深根性の木本植物を利用した対策植林システムの開発を目指すべきと考えた。この対策システムの設計は、樹木を蒸散能力を持つ装置とみなせば、どれだけ高い耐久性を持つ装置を確保でき、その装置のスペックを定量評価できるかにかかっている。

我々の研究チームは、塩害・湛水害の顕在化によって放棄された農地でも高い生存率・成長量を保つと期待できる樹種のスクリーニングを行い、*Eucalyptus sargentii* (Kondo et al., 2014, J. Arid Land Studies, 24, 25-28) と *E. occidentalis* (Sochacki et al., 2012, Glob. Change Biol. Bioenergy, 4, 193-201)、他に *Casuarina obesa* を追加検討すべき樹種の候補として選択した。

### 2. 研究の目的

本研究では塩害・湛水害の生じた農場内の耕作放棄農地への耐塩性蒸散促進樹種の植林の実現可能性・有効性を評価する。実際の耕作放棄地を観測することで塩害・湛水害を招く地下水の浸

みだしの機構を明らかにし耕作放棄農地への植林に求められる条件に対する知見を得る。

また塩害・湛水害の対象地に既に存在している耐塩性蒸散促進樹種の生理特性定量評価として長期間の蒸散速度の樹液流センサーによる評価を行い、塩害の影響を受けた条件の下でどの蒸散が維持できるのかを確認する。

また、塩害・湛水害の対象地の中に試験領域を定めて植栽実験を行い、その経過を観察することで耕作放棄地への植林が実際に実現可能であるかどうかを検証する。

### 3. 研究の方法

#### (1) セカンダリーサリニティ発生地の地下水の状況調査

調査対象地として選定した西オーストラリア州(以下西豪州) Wickiepin の Martin 農場には地下水位上昇によって生じた大きな塩湖状の領域(図3に示すAの領域)があり、降雨の有無によって部分的に水面が見られるが、その水は塩性であり、領域の周辺では塩害・湛水害によって小麦など、農作物が成長せず、不毛の状態となっている。この領域は周囲で一番標高の低い位置となっていて、地下水面の上昇によって塩分を含む地下水が地表に表出し、そこで乾燥することをくり返して生じた典型的なセカンダリーサリニティの被害領域である。

図3に示す領域の各所に分布している複数の地下水水位観測用の掘削穴に地下水水位センサーを設置した。特に図3に示すBの部分には密にセンサーを配置した。この部分では農耕地の内部での植林が実施されていた。植林された領域の中とその周辺の農地で地下水位の特徴を観測した。

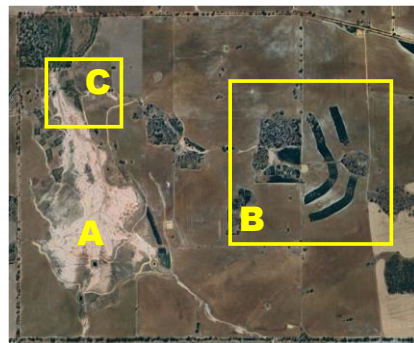


図3 調査対象地 Martin 農場に存在する塩湖状の領域(A)と農地内植林の実施場所(B)、既設の *E. occidentalis* の植林サイト(C)の位置関係

#### (2) 植林した樹木の耐塩性・蒸散速度の調査

図3のCの塩湖状の領域の周辺部分には既設の *E. occidentalis* の植林サイトが存在する。その端は一部塩湖状の領域にも接触しており、塩湖の「海岸線」からの距離に応じて塩害被害の大きさが連続的に変化していることが観測される。その中から12の個体を選び、樹液流センサーを設置して流量の絶対値とその変化を観察した。

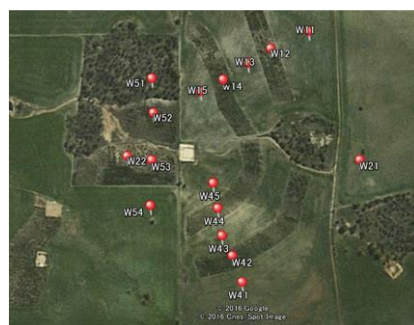


図4 図3のBの部分に設置された地下水測定用の掘削孔と水位センサーの位置。中央左側の標高が低い谷間になっていて、高低差が付くようにいくつかの系列の掘削孔が配置されている。

#### (3) 塩害被害地域での新規植林サイトの造成

図3の領域とは別に塩害被害を受けてる場所を新たに選定し、新たに育種した *E. occidentalis*、*E. sargentii*、*Casuarina obesa* の三種の耐塩性樹種の苗木の植林を行った。土壌塩分センサーにより対象領域の塩濃度の分布を評価し、植栽した苗木の活着の状態をチェックし、塩濃度の影響を評価した。

### 4. 研究成果

#### (1) セカンダリーサリニティ発生地の地下水の状況調査

図3に示すBの部分には図4にマークした様に農耕地内部の植林場所をまたぐように複数の地下水水位を測定した。図5には図4に示した全ての測定点に対して地表の標高に対する地下水面の高さ(標高と同じ原点を基準として表示)を示している。一見して分かる様に多くの測定点で標高322mの位置に地下水の水面が現れている。これは地下水盆の位置が観測されていると考えるのが自然であるが、いくつかの測定点ではこの地下水盆のレベル(322m)が地表の標高よりも高い位置にあることが分かる。実際、図4中央部分、周囲よりも標高が低く谷間になっている地点の地下水水位測定用の掘削孔では保護のために設置されたケースの中の地表よりも高い位置に水位が来るものも観察された。(この様な掘削孔は保護ケースがなければ地下水の湧出点となつたはずである。)

さらに、図4の領域は図3のAに示した塩湖状の領

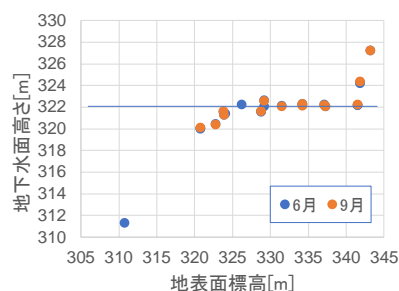


図5 各掘削孔の標高と地下水の水位の関係。地下水位は標高基準に換算して示されている。

域よりも高い標高に存在している。つまり、セカンダリーサリニティ発生地の発生領域である「塩湖」は図5に示された標高322mの地下水盆よりずっと低い位置にある。この「塩湖」は、周辺領域に散在しているであろう自然の地下水の湧出点から流入した水があつまってきたものだと理解できる。つまり「塩湖」は地下水盆が地表に覗いているものではない。そして「塩湖」の水位・水量は湧出点からの流出速度と水面からの蒸発とのダイナミックなバランスで決まっていると考えられる。

## (2) 植林した樹木の耐塩性・蒸散速度の調査

図3のCの塩湖状の領域の周辺部分には存在する既設の*E. occidentalis*の植林サイトには、塩湖の「海岸線」からの距離に応じて塩害被害の大きさが連続的に変化している。樹液流センサーを設置した12の個体について、半年間の樹液流速データの平均を図6に示す。

植林サイトの東西・南北方向に間隔2.5mの正方形に樹木が配列しているが、各個体の位置はその配列内の座標で示してある。位置1-10に相当する端点に存在したはずの樹木、及びその周辺の植林木は既に、おそらく塩害によって枯死あるいは消失しており、塩湖状の領域の「海岸線」に一番近い個体が図6のグラフ右端の位置5-8となる。以降、データは「海岸線」から離れる順番で左に向けて並んでいる。

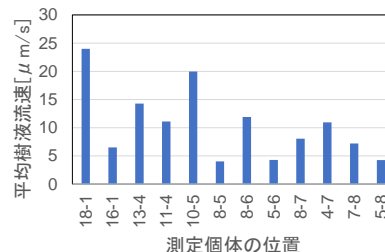


図6 *E. occidentalis*の植林サイトにおける選択されたいくつかの個体に対する樹液流速の平均値(2018年3月~9月)。図の右側に行くほど「塩湖」に近い。

樹液流の平均値はなだらかに右下がりに変化しており、塩害による*E. occidentalis*の樹液流速の影響が現れていると考えられる。実は各個体の樹高、胸高直径のデータも同様の傾向を示しており、塩害の影響は樹液流速の制限と同時に樹木そのものの生育への制限としても表れ、共に蒸散量の低下という結果をもたらしている。年間を通じての樹液流速データは残念ながら取得することができなかったが、上記の結果を基に塩湖状の領域の近傍の植栽した耐塩性樹木(*E. occidentalis*)による蒸散速度の定量化が可能であることが示された。これによって塩害対策のための植林の効果の評価が可能になると考えられる。

## (3) 塩害被害地域での新規植林サイトの造成

図3に示した領域の北に存在する別の塩害被害を受けてる場所を新規の植林サイトとして新たに選定した(図7)。対象地は周囲より低い、浅い傾斜の谷の底に相当する位置にあり、道路を横切った反対側には塩水が溜まっている時期もある。塩類集積によって農耕には利用されてこなかった土地である。



図7 新たに選定した植林サイト赤枠で囲った部分に23のプロットを作成した。

植林に際して手持ちのセンサーによって対象地の大まかな塩分濃度の分布を調査した(図8)ところ、谷の底の方向(道路に近い方向)で塩濃度が高くなっていることが分かった。

この場所に耐塩性樹種として選抜した*E. occidentalis*、*E. sargentii*、*Casuarina obesa*の三樹種の苗木を植栽した。育苗した苗の本数は2万本程度であり、樹種(3種)・植林密度(500~8000tree/ha)で多重度を含めて全部で23のプロットを作成した。

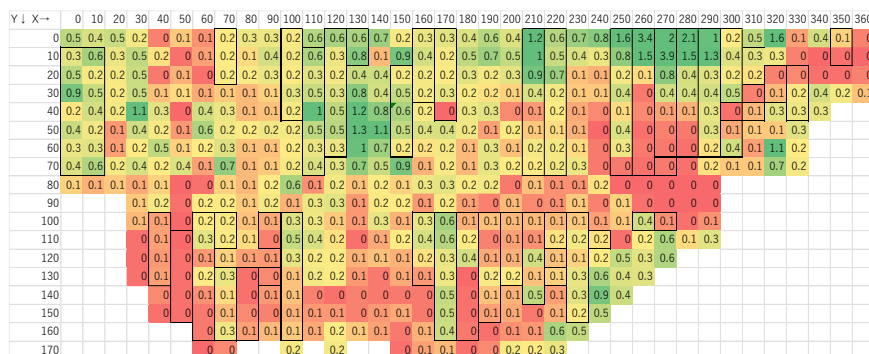


図8 図7の植林サイト内の土壌塩分(mS/cm)の分布。図では緑色の部分が高い塩濃度の対応している。

2年半の後、毎木調査を実施し、それぞれの樹種の活着（生死）判定を行った。植林サイト全体を10m×10mのセルに分割してそれぞれの内部での生存率を求めたところ、十分な個体数を含まない周辺部を除いてどのセルでも生存率は60%を越えており、約8割のセルで90%を越える生存率を示していた（図9）。今回耐塩性樹種として選定した3種を用いた植林は、少なくとも植林の初期においては、塩害地域でも十分に可能であることが示された。

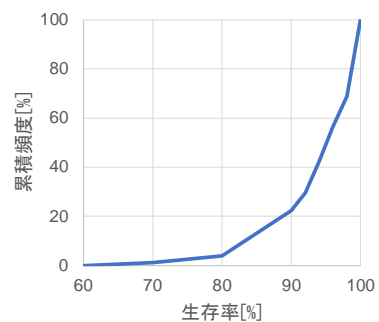


図9 図8の植林サイトでの植栽2年目の生存率の分布。縦軸は累積頻度で横軸の生存率以下値を示すのセルの割合を示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Suganuma Hideki, Aikawa Shin-ichi, Sakai Yuji, Hamano Hiroyuki, Takahashi Nobuhide, Tahara Kiyotaka, Kawarasaki Satoko, Utsugi Hajime, Egashira Yasuyuki, Kawanishi Takuya, Harper Richard J., Tanouchi Hiroyuki, Kojima Toshinori, Abe Yukuo, Saito Masahiro, Kato Shigeru, Law John, Yamada Koichi	4. 巻 133
2. 論文標題 Estimation of CO2 sequestration potential by afforestation in the arid rangelands of Western Australia based on long-term empirical data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ecological Engineering	6. 最初と最後の頁 109 ~ 120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ecoleng.2019.04.015	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yasuyuki Egashira et.al.
2. 発表標題 Technology for Maintain Ground Waterbalance to Avoid Water Logging and Salt Accumulation in Western Australia Croplands by Utilization of Salt Tolerant Tree Species
3. 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering (APCChE) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	酒井 裕司  (Sakai Yuji)  (40361513)	工学院大学・先進工学部・准教授   (32613)	
研究分担者	高橋 伸英  (Takahashi Nobhide)  (40377651)	信州大学・学術研究院繊維学系・教授   (13601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	菅沼 秀樹  (Suganuma Hideki)  (90447235)	信州大学・繊維学部・特任助教     (13601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関