

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 10 日現在

機関番号：18001

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011 ～ 2012

課題番号：23710060

研究課題名（和文） 遺伝子汚染リスク下の森林経営～遺伝子組み換え樹木導入意思決定メカニズムの解明

研究課題名（英文） Forest management under the risk associated with transgenic pollen dispersal – explore forest management decisions of GM trees plantation

研究代表者 木島 真志 (KONOSHIMA MASASHI)

琉球大学・農学部・准教授

研究者番号：10466542

## 研究成果の概要（和文）：

遺伝子組み換え樹木は、木質資源の安定的確保の一手段というだけでなく、地球規模の環境問題の解決策として期待が高まっている。しかし、遺伝子組み換えの農作物と比べて、樹木は寿命が長く、種子や花粉の移動性が高いため、近隣の野生類縁種との異形交配により土地固有の個体群の持つ遺伝子構成を破壊すること（遺伝子汚染）が考えられ、遺伝子組み換え樹木が一旦繁殖能力をもつと、近隣の自然生態系に対して不可逆的な負荷を及ぼす可能性がある。そのため、遺伝子組み換え樹木の植林管理を検討する際には、遺伝子組み換え樹木の種子や花粉散布が野生の樹木あるいは“従来”の樹木に及ぼす潜在的な影響を評価することが重要である。これらの影響を踏まえて、森林土地所有者は、遺伝子組み換え樹木導入の便益と費用を評価し、遺伝子組み換え樹木の植林の意思決定を行う必要がある。遺伝子組み換え植物に対する経済分析については、需要者サイドから、遺伝子組み換え植物に対する支払い意思額を推定した研究などが行われているが、供給者サイドから遺伝子組み換え植物や樹木の管理に関する意思決定を解明した研究はまだ、ほとんど行われていない。本研究では、遺伝子組み換え樹木の花散粉のシンプルな空間的シミュレーションモデルを応用し、森林土地所有者の遺伝子組み換え樹木植林に関する様々な管理戦略（植栽割合、空間配置）が遺伝子組み換え樹木の授粉確率に及ぼす影響を分析した。

## 研究成果の概要（英文）：

Planting genetically modified (GM) trees, which grow faster, may help counter global warming by sequestering carbon from the atmosphere at a higher rate or may help meet a growing demand of wood materials. However, dispersal of transgenic pollen, seed and gene immigration into natural and breeding populations may be deleterious from the point of view of the conservation of natural populations. Therefore, it is important to evaluate the potential impact of transgenic pollen and/or seed dispersal on natural populations before considering planting GM trees. Forest owners who consider planting GM trees need to evaluate benefits and costs associated with introduction of GM trees. There are studies that estimate the willingness to pay (WTP) for GM plants from the demand sides (Lusk, J.L. et al., 2004; Huffman, W. E., et al., 2007). However, there are few studies examining land managers' management decision on GM plants or trees. In this study we explore land managers' management decision on planting GM trees considering the potential impact of transgenic pollen dispersal. Because of long-distance dispersal of pollens and/or seeds as well as long life cycle of trees, a spatial and temporal framework is necessary for analyzing the potential impact of transgenic pollen and/or seed dispersal on natural populations. Here, we develop a simple simulation model of transgenic pollen dispersal with a spatial framework and explore forest owner's activities that includes planting GM trees and its impact on natural populations.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,100,000	330,000	1,430,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境影響評価・環境政策

キーワード：遺伝子組み換え，遺伝子汚染，森林管理，空間モデル，シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

遺伝子組み換え(Genetically Modified:以下GM)樹木は、遺伝的性質の改変により、人工的に病虫害に対する抵抗性を高めたり、「乾燥」など様々な環境ストレスに耐性を持たせた樹木のことである。このようなGM技術は、今や、木質資源の安定的確保の手段というだけでなく、地球規模の環境問題の解決策として期待が高まっている。しかしながら、GM技術の導入に際しては、「殺虫剤耐性を持つ昆虫種の発達を促す」や「環境ストレス適応力をもつGM樹木が野生類縁種と競合し、その結果、遺伝的多様性が失われる」などの副作用的な悪影響が懸念されている[1]。特に、GM樹木は寿命が長く、種子や花粉の移動性が高いため、近隣の野生類縁種との異形交配により土地固有の個体群の持つ遺伝子構成を破壊すること(遺伝子汚染)が考えられ、GM樹木が一旦繁殖能力をもつと、近隣の自然生態系に対して不可逆的な負荷を及ぼす可能性がある。そのため、GM樹木については、市民やNGOによる反対運動も根強く、現時点においてGM樹木の商業栽培を進めているのは、北米と中国だけである[2]。GM樹木の導入については、各国の政府が今後の政策展開を模索している状態であり、2010年10月に名古屋で開催された生物多様性条約第10回締約国会議(COP10)においても、最重要課題の1つとして議論されている。このようにGM樹木の本格的な導入に関して、国際的な議論が高まる中、屋内におけるGM樹木の試験栽培は、世界中で展開されており、野外試験地による実験も始められている[2]。これらの試験栽培では、GM樹木導入後のリスクを軽減するための様々な技術(例えば、「導入遺伝子を含む花粉の生成の阻害、あるいは、それらを選択的に除去する機構の開発」や、「樹木の開花の防止」、さらに、「樹木の成熟期に達する時期を遅らせて、花粉が生成される前に樹木を伐採する」など)の開発・改良が進められており[1]、このような技術が確立されれば、今後、GM樹木の商業栽培がますます広まる可能性がある。それゆえ、試験栽培による物理的・生物学的・環境的データを蓄積するとともに、今後の政策展開に向けて、有効な情報提供に繋がる経済政策分析を行う必要がある。特に、森林所有者や企

業のGM樹木導入に関する意思決定について、彼らが直面するトレードオフを定量化し、意思決定のプロセスを明らかにする経済モデルが構築できれば、様々な政策がGM樹木導入の意思決定に及ぼす影響をシミュレーションすることが可能となり、適切な政策の探求をサポートできる。しかしながら、GM技術の導入に関する経済分析・政策分析はまだ未発達であり、経済分析については、GM作物について、消費者(需要サイド)の支払意思額を推定したもの[3],[4]はあるが、生産者(供給サイド)の意思決定に関わる分析はまだなく、GM樹木に関する経済分析については、まだほとんど行われていない。

2. 研究の目的

本研究では、土地管理者の遺伝子組み換え樹木植林に関する意思決定を、遺伝子組み換え樹木の花粉散布の潜在的な影響を考慮しながら、シミュレーションにより分析した。

3. 研究の方法

本研究では、遺伝子組み換え樹木の植林地からの花粉散布に焦点をあて、STEVE model [5]をもとに、セルベースの花粉散布シミュレーションモデルをC言語で再構築した。DiFazio et al.(2012)によると、STEVE modelにおける花粉散布モジュールでは、まず、下記の式でPollen productionを計算する。

$$P_g = Ba_{ga} \cdot f_{ga} \cdot S_{rg}$$

ここで、 $Ba_{ga}$  は genotype g, 樹齢 a の胸高

断面積、 $f_{ga}$  は genotype g, 樹齢 a の相対的

な生産力、 $S_{rg}$  は genotype g における性比

である。

尚、

$$Ba_{ga} = \alpha \frac{N_g \cdot t(1 - e^{-0.04a})}{N \max_a} \text{である.}$$

ここで、 $N \max_a$  は樹齢  $a$  の carrying capacity であり、下記の式で計算される。

$$N \max_a = 1 + 4000 \cdot \left( \frac{e^{-\frac{a}{3}}}{1 + e^{-\frac{a}{3}}} \right)$$

図 1 に  $Ba$  と樹齢の関係、図 2 に樹木密度と樹齢の関係をそれぞれ示す。

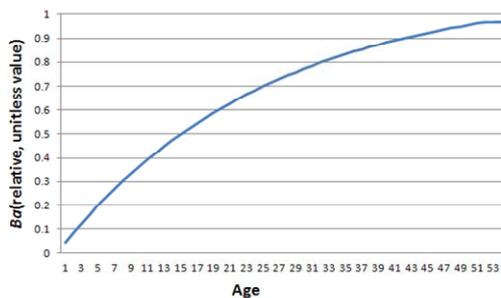


図 1 :  $Ba$  と樹齢の関係

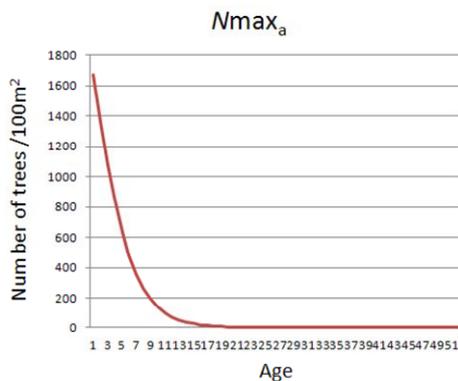


図 2 : 樹木密度と樹齢の関係

次に上記の  $P_g$  を用いて、各セル  $i$  における各 genotype  $g$  からの授粉確率  $P_{gi}$  を下記の式で計算する。

$$P_{gi} = P_g \cdot D_p \cdot W \cdot H$$

ここで、 $D_p$  は花粉のソースセルから各セルまでの距離を表し、 $D_p = \beta \cdot e^{-\chi d}$  で計算される (ここで、 $d$  は距離、 $\beta, \chi$  はそれぞれパラメータである)、 $W$  は風の影響、 $H$  は phenological compatibility を示す。

管理者の管理計画については、管理者は、より多くの成長の早い遺伝子組み換え樹木を植栽することで、一定期間内の収穫量の増加を見込めると想定する。しかし、より多くの遺伝子組み換え樹木の植林は、野生類縁種との異形交配により土地固有の個体群の持つ遺伝子構成を破壊する (遺伝子汚染) リスクを高める。そこで、このシミュレーションでは、遺伝子組み換え樹木の空間植栽パターンおよび植林密度が遺伝子汚染リスクに及ぼす影響を検討した。

具体的には、仮想的な 5 セル X 5 セル (セルサイズ: 100m X 100m) の森林ランドスケープを想定した。各セルは同じ植栽密度で管理されている。管理者は、各セルにおける遺伝子組換え樹木と“従来の樹種”による植栽割合を決定する。もし、あるセルに対して、遺伝子組換え樹木のみ植栽される場合は、遺伝子組換え樹木の割合は 1.0 (“従来の樹種”の割合は 0.0) となる。所有地全体での遺伝子組み換え樹木の割合に制限がある場合、どのような遺伝子組み換え樹木の植栽配置および植栽密度のパターンが、どのように遺伝子汚染リスクに影響を及ぼすか評価した。

#### 4. 研究成果

まず、遺伝子組み換え樹木の植林割合が遺伝子組み換え樹木の受粉確率に及ぼす影響をシミュレーションにより検討した。図 3 では、左下コーナーのセルに遺伝子組み換え樹木の植林割合を 0.9 から 0.2 まで変化させたときの各セルにおける受粉確率を示す。尚、左下コーナー以外のセルには、“従来の樹種”のみが植栽される。図 3 では、左下コーナーのセルにおける遺伝子組み換え樹木の植林割合が高いほど、“従来の樹種”のみのセルにおいても遺伝子組み換え樹木受粉の確率が高くなることが示されている。

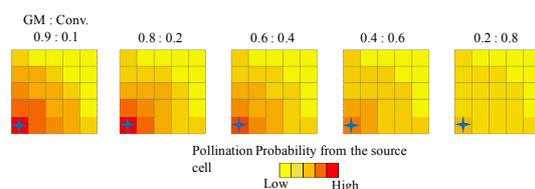


図 3 : 遺伝子組み換え樹木ソースセルからの受粉確率

次に、様々な遺伝子組み換え樹木の植栽割合および空間配置が遺伝子組み換え樹木の受粉確率に及ぼす影響をシミュレーションにより分析した。土地管理者は、所有するランドスケープに対して、ある一定の本数の遺伝子組み換え樹木を植栽すると仮定し、下記の4ケースについて、異なる空間配置パターンがどのように受粉確率に影響を及ぼすか評価した。

Case 1: 0.8 GM trees in one cell	Case 3: 0.2 GM trees in four cells
Case 2: 0.4 GM trees in two cells	Case 4: 0.1 GM trees in eight cells

今回のシミュレーションでは、ランドスケープ全体としての受粉の確率を高めないためには、図4に示す通り、遺伝子組み換え樹木の植栽地をランドスケープの片隅に集約して植林するパターンが良い可能性が示唆された。

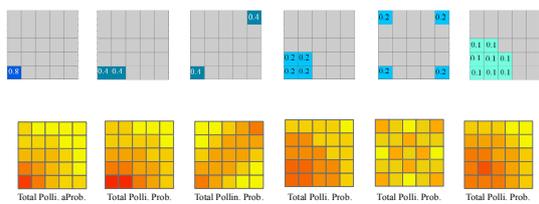


図4：遺伝子組み換え樹木植栽割合と空間配置が受粉確率に及ぼす影響

一方、各セルにおける遺伝子組み換え樹木の植栽割合が低くても、ランドスケープにおいて、その植栽セルの数が複数集まって存在する場合には、ランドスケープ全体としての受粉確率が高くなる可能性が示唆された。

更に、これら4つのケースについて、土地所有者が空間配置の重要性を認識せずにランダムに遺伝子組み換え樹木の植栽地を決定した場合に、図4で検討した植栽配置と受粉確率にどの程度の違いが生じるかシミュレーションにより分析した(図5, 図6)。

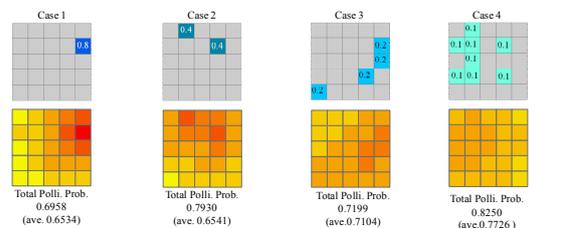


図5：ランダム配置が受粉確率に及ぼす影響(ランダムに植栽地が決定された1つの例)

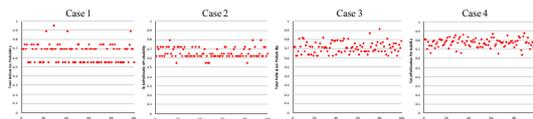


図6：ランダム配置が受粉確率に及ぼす影響(100回のシミュレーション結果)

図5, 図6に示される通り、遺伝子組み換え樹木の植栽地がランダムに決定されると受粉確率が高くなってしまふ可能性が示唆された。

今回のシミュレーションでは、遺伝子組み換え樹木の花粉散布に着目したが、STEVE model(DiFazio et al., 2012)では、seed dispersal module, establishment module & competition and mortality module も取り扱われており、今後は、この比較的シンプルなシミュレーションモデルにこれらモジュールを加える拡張が考えられる。

引用：

[1] 藤岡典夫 (2009) 遺伝子組換え樹木をめぐる情勢, 農林水産研究所, <http://www.maff.go.jp/primaff/koho/seika/project/pdf/gm1.pdf>; [2] 藤岡典夫(2009) 農林水産政策研究 16: 65-77; [3] Lusk, J.L., et al. (2004) Euro. Rev. Agr. Econ., 31 (2):179-204, [4] Huffman, W. E., et al.(2007) Jour. of Econ. Behav. & Org.,63:193-206; [5] DiFazio et al.(2012) New Phytologist 193: 903-915.

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計2件)

- ① Konoshima, M., H.Hattori, A.Yoshimoto, (2013) Simulation Analysis of Spatial Management for Controlling seed dispersal and disturbances, FORMATH FUKUSHIMA 2013, March 13@いわき明星大学
- ② Konoshima, M., H.Hattori, A.Yoshimoto, (2012) Developing a simulation model of transgenic pollen dispersal for analyzing GM trees plantation and forest management, Sustainable Forest Ecosystem Management in Rapidly Changing World Joint International Symposium By Japan, Korea and Taiwan, Yilan, Taiwan 2012, Sep.12 (poster)

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

木島 真志 (KONOSHIMA MASASHI)

琉球大学・農学部・准教授

研究者番号：10466542