

令和元年5月31日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14944

研究課題名(和文) 光合成機能の可塑性に着目した林木育種の新展開

研究課題名(英文) Innovative tree breeding focusing on plasticity of photosynthetic traits

研究代表者

石井 弘明 (Ishii, Hiroaki)

神戸大学・農学研究科・准教授

研究者番号：50346251

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、人工林および天然林において、表現型可塑性の高い品種や集団を探査し、気候変動に対する順化能力に関連する基礎生理・生化学データを取得することである。全国のブナを対象に調査を行った結果、北海道・東北などの北限域および野・新潟などの標高限界付近では、個体の表現型可塑性が高く、西日本の孤立集団では可塑性が低いことが明らかになった。可塑性の低い西日本のブナは、気候変動に対する順化能力が低い可能性があり、従来予想よりも早く消滅する恐れがある。スギ精鋭樹クローンを比較した研究では、可塑性の高いクローンほど材積成長が良いという結果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

樹木は作物などの1年生植物と異なり長寿であることから、長い生育期間中の環境変化に対して可塑的に対応できる系統こそが「優良品種」であると言える。本研究の成果から、人工林では可塑性の高い品種を選抜し、天然林では可塑性の低い集団を保護することが、森林管理における温暖化適応策につながると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In order to sustain forests and forest production, we must focus not only on conventional traits, but also on trait variation, i.e., plasticity. The objective of this study was to investigate trait within-tree variation in natural and plantation forest to select species and varieties with high trait plasticity to infer which species could endure future climate change. We found that in *Fagus crenata*, populations near the northern and altitudinal distribution limits had high plasticity, while those in western Japan had low plasticity. Populations in western Japan are isolated and risk extinction if existing individuals are not able to acclimate to climate change. In *Cryptomeria japonica*, we found that varieties with high plasticity grew faster. These results suggest that selecting for specie and varieties with high trait plasticity may result in sustainable forest diversity and production.

研究分野：樹木生理学

キーワード：気候変動 温暖化適応 順化能力

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

樹木は、実生から成木に至るまでに 1000 倍近いサイズ変化を示す。また、1000 年以上の長い寿命を有する樹種もあるため、様々な環境変化に対応できる高い表現形可塑性を保持しながら進化してきた。たとえば、葉やシュートの形態は光合成における光エネルギー利用効率を規定する重要な要素であるため、樹冠内における光エネルギーの量的・質的变化に応じて、葉の形態や光合成機能は高い可塑性を示す(図-1)。申請者らのこれまでの研究から、樹冠上部の葉では直達光の利用率がが高く、樹冠下部では散乱光の利用率が高いことが示されている (Ishii et al. 2012, *Tree Physiol*)。また、北米西海岸の針葉樹 12 種の比較研究では、光合成機能における可塑性が高い樹種ほど CO<sub>2</sub> 吸収量や一次生産量が高いことが示されている (Ishii et al. 2013, *Ecol Res*)。

林木育種の研究はポプラなど比較的世代交代の早い樹種を対象に発展してきた。国内においてもスギゲノムの解読が進み、DNA 情報にもとづいた選抜育種への展開が見られる。しかし、植林から収穫までの間に起こりうる様々な環境変化や、今後予想される地球規模の環境変動に耐えうる造林木を開発するためには、特定の形質を選抜するのではなく、樹木が本来有する高い表現形可塑性を保持する必要があると考える。また、光合成機能の可塑性に関わる基礎生理機能や生化学反応を明らかにすることで、これらを支配する量的遺伝子群を用いた稚樹段階での選抜育種が可能になるだろう。

### 2. 研究の目的

樹木は作物よりも世代交代が遅く、植栽から収穫までの年数が長いため、林木の育種は作物と比べて進展が遅れている。日本では長年にわたってスギやヒノキなどの主要な造林木を対象に、成長が速く、材質の優れた系統の開発および、優れた形質をもつ「精鋭樹」を挿木によって増殖する事業が進められてきた。しかし、特定の形質を有する系統を選抜育種する従来の方法では、時間がかかりすぎるだけでなく、生理的な形質が固定されてしまうため、年々進む地球温暖化などの環境変動に対応できないと考えられる。そこで、本研究では、将来の環境変動に対応可能な高い表現形可塑性を有する系統を探索し、可塑性それらを稚樹段階で選抜するために必要な生化学反応を明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究では、北海道から九州まで、日本の天然林に広く分布し、冷温帯林の優占種であるブナについて、葉の機能形質の個体内変異を全国 13 箇所において調査した。ロープを使って樹に登り、樹冠内の様々な高さから葉を採取した。

さらに、従来の方法で選抜されてきた精鋭樹クローン(挿し木)が有する可塑性の調査を行った。九州大学および鹿児島大学演習林にあるスギ検定林において、クローンごとの 40 年間の成長量と可塑性の関係を調査した。

### 4. 研究成果

全国のブナを対象に調査を行った結果、北海道・東北などの北限域および野・新潟などの標高限界付近では、個体の表現型可塑性が高く、西日本の孤立集団では可塑性が低いことが明らかになった。可塑性の低い西日本のブナは、気候変動に対する順化能力が低い可能性があり、従来の予想よりも早く消滅する恐れがある。スギ精鋭樹クローンを比較した研究では、可塑性の高いクローンほど材積成長が良いという結果が得られた

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 9 件)

1. Azuma W, Ishii HR, Masaki T (2019) Height-related variations of leaf traits reflect strategies for maintaining photosynthetic and hydraulic homeostasis in mature and old *Pinus densiflora* trees. *Oecologia* 189: 317-328.
2. Ishii HR, Horikawa S, Noguchi Y, Azuma W (2018) Variation of intra-crown leaf plasticity of *Fagus crenata* across its geographical range in Japan. *Forest Ecology and Management* 429: 437-448.
4. Ishii HR, Minamino, T, Azuma W, Hotta K, Nakanishi A (2018) Large retained trees of *Cryptomeria japonica* functioned as refugia for canopy woody plants after logging 350 years ago in Yakushima, Japan. *Forest Ecology and Management* 409: 457-467.
5. Ishii HR, Cavaleri MA (2017) Canopy ecophysiology: exploring the terrestrial ecosystem frontier. *Tree Physiology* 37:1263-1268.
6. Azuma W, Nakashima S, Yamakita E, Ishii HR, Kuroda K (2017) Water retained in tall *Cryptomeria japonica* leaves as studied by infrared micro-spectroscopy. *Tree Physiology* 37:1367-1378.
7. Himeno S, Azuma W, Gyokusen K, Ishii HR (2017) Leaf water maintains daytime transpiration in young *Cryptomeria japonica* trees. *Tree Physiology* 37:1394-1403.

8. Ishii HR\*, Sillett SC, Carroll AL (2017) Crown dynamics and wood production of Douglas-fir trees in an old-growth forest. *Forest Ecology and Management* 384: 157-168.
9. Shiraki A, Azuma W, Kuroda K, Ishii HR\* (2017) Physiological and morphological acclimation to height in cupressoid leaves of 100-year-old *Chamaecyparis obtusa*. *Tree Physiology* 37:1327-1336.

〔学会発表〕(計 9 件)

1. 堀川慎一郎・明貝直晃・新良貴歩美・東若菜・石井弘明．ブナの葉における形態的可塑性の地域間差．第 67 回応用森林学会大会．2016.11 (松山) 口頭発表
2. 堀川慎一郎・明貝直晃・新良貴歩美・東若菜・石井弘明．気候条件からみたブナの葉の表現型可塑性．第 128 回日本森林学会大会．2017.3 (鹿児島) ポスター発表
3. 堀川慎一郎・石井弘明・明貝直晃・東若菜・新良貴歩美．ブナの表現型可塑性とその地域変異．第 64 回日本生態学会大会．2017.3 (東京) ポスター発表
4. Nabeshima E, Kudo K, Azuma W, Ishii H, Funada R. Seasonal changes of leaf photosynthetic rate, stored starch and vessel formation in shoots and tree stems of two deciduous broad-leaved tree species. 9th Pacific Regional Wood Anatomy Conference. 2017.9. (Bali).
5. Horikawa S, Myokai N, Ishii HR. Phenotypic plasticity of *Fagus crenata*: implications for persistence under climate change. 28th IUFRO conference for Specialists in Air Pollution and Climate Change Impacts on Forest Ecosystems. 2017.9. Tokyo.
6. Noguchi Y, Horikawa S, Hara C, Ishii H, Kuroda K. Height-related changes in hydraulic structure of old *Cinnamomum camphora*: trade-off between hydraulic conductivity and safety. 8th International Congress of the East Asian Federation of Ecological Societies. Apr 2018. Nagoya. Best Poster Award.
7. Ishii H, Minamino T, Azuma W, Hotta K, Namba Y, Noguchi Y. Large *Cryptomeria* trees retained after intensive logging functioned as refugia for canopy woody plants in Yakushima. 8th International Congress of the East Asian Federation of Ecological Societies. Apr 2018. Nagoya.
8. Ishii, H. Structure and function of forest canopies: from world-record trees to plantations. 第 66 回日本生態学会大会 2019.3 (神戸)
9. Azuma W, Ishii H, Masaki T. Height-related variations of leaf traits reflect strategies for maintaining photosynthetic and hydraulic homeostasis in tall *Pinus densiflora* trees. 第 66 回日本生態学会大会 2019.3 (神戸)

〔図書〕(計 1 件)

石井弘明 編「森林生態学」朝倉書店

〔産業財産権〕

出願状況 (計 件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 出願年：  
 国内外の別：

取得状況 (計 件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 取得年：  
 国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：榎木 勉

ローマ字氏名：Enoki Tsutomu

研究協力者氏名：鵜川 信

ローマ字氏名：Ugawa Shin

研究協力者氏名：宮崎 佑子

ローマ字氏名：Miyazaki Yuko

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。