

令和 4 年 4 月 20 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K07859

研究課題名(和文) 海岸林の広葉樹における適応的浸透：種間交雑家系を用いた耐塩性遺伝子の特定

研究課題名(英文) Adaptive introgression in coastal broadleaf trees: detection of salt-tolerant genes using interspecific hybrid families

研究代表者

永光 輝義 (Nagamitsu, Teruyoshi)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：30353791

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：北日本の沿岸地域の広葉樹林では、海岸にカシワが、内陸にミズナラがそれぞれ生育する。北海道にはカシワの分布の北限があり、その北にはミズナラが海岸に生育する。海岸のミズナラは、海岸環境に適応したカシワのように毛が多く丸い葉や太い枝をつけ、内陸のミズナラと葉や枝の形態が異なるが、その由来は明らかではなかった。内陸と海岸のミズナラとカシワの遺伝子型を調べたところ、海岸のミズナラとカシワが派生的な対立遺伝子を共有することがわかった。これらの対立遺伝子は、内陸のミズナラとカシワの交雑の結果生じた子孫の数世代に渡るミズナラとの戻し交配による遺伝子浸透によってミズナラに入ってきたと推定された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

特定の環境に適応した種から交雑可能な別種への遺伝的浸透によって、遺伝子を受け取った種はその環境に適応した表現型を獲得できると考えられる。この研究は、海岸に生育するカシワから内陸に生育するミズナラに遺伝的浸透が生じ、その浸透を受けたミズナラが海岸に進出したことを示唆している。この成果は、種間交雑による遺伝的浸透が生態型の分化や局所環境への適応をもたらすことを樹木で明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In northern Japan, coastal oak forests consist of *Quercus dentata* (Qd) on the coastal side and *Q. mongolica* var. *crispula* (Qc) on the inland side. In the forests of northern Hokkaido, Qd is rare, and a coastal ecotype of Qc with some Qd-like traits grows on the coastal side. We demonstrated that an admixture of Qd characterizes the genetic background of the coastal ecotype of Qc and that not only the coastal stress but also the genetic background is responsible for the leaf and shoot traits of Qc and Qd in northern Hokkaido. We showed evidence for introgression from Qd to the coastal ecotype of Qc, which included various stages of introgression after the first generation of backcross.

研究分野：集団遺伝学

キーワード：浸透交雑 耐塩性 海岸林 種間交配家系 広葉樹

1. 研究開始当初の背景

北日本の沿岸地域の広葉樹林では、海岸にカシワ *Quercus dentata* Thunberg が、内陸にミズナラ *Q. mongolica* var. *crispula* (Blume)

H. Ohashi がそれぞれ生育する。北海道にはカシワの分布の北限があり、

その北にはミズナラが海岸に生育する。北海道北部の海岸のミズナラは、海岸環境に適応したカシワのように毛が多く丸い葉や太い枝をつけ、内陸のミズナラと葉や枝の形態が異なるが、その由来は明らかではなかった。



北海道に広くみられる内陸のミズナラ

カシワ北限より北にみられる海岸のミズナラ

北海道北部に北限がある海岸のカシワ

2. 研究の目的

北海道北部の海岸のミズナラの由来を明らかにするため、それまでに提唱されていた仮説：

- 1) 東アジア大陸部のモンゴリナラに属するか、モンゴリナラとの交雑に由来する
- 2) カシワとの交雑に由来する
- 3) モンゴリナラでもカシワでもない系統群に由来するか、ミズナラ内の変異である

を検証した。なお、モンゴリナラとは、東アジアの大陸部に分布する *Q. mongolica* Fischer ex Ledebour である。

さらに、由来する系統が明らかになったところで、海岸のミズナラのゲノムが、それらの系統に由来する遺伝的変異によってどのように構成されているかを明らかにした。

3. 研究の方法

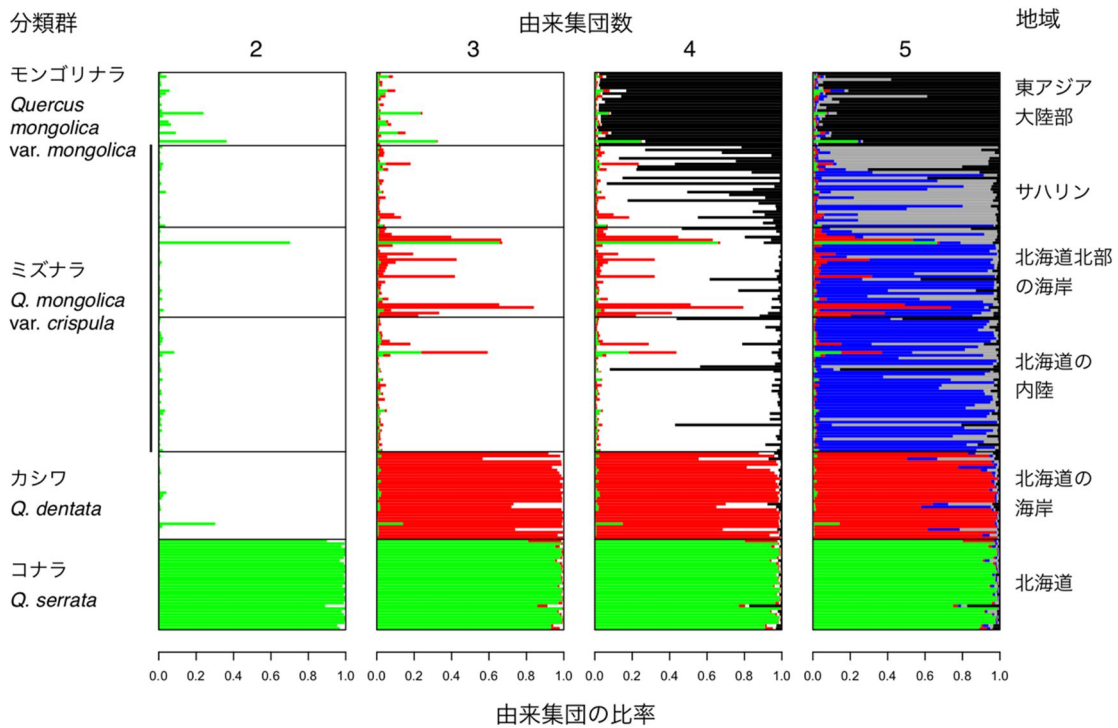
由来に関する仮説を検証するため、東アジア大陸部（中国北東部とロシア沿海州）のモンゴリナラ、サハリンのミズナラ、北海道北部の海岸のミズナラ、北海道の内陸のミズナラ、北海道の海岸のカシワ、北海道のコナラからサンプルを得た。それらのサンプルについて、核マイクロサテライト 22 座位の遺伝子型を解析した。

さらに、ゲノム構成を明らかにするため、北海道の内陸と海岸のミズナラおよび海岸のカシワの二重消化制限酵素認識部位近隣 DNA (ddRAD) シーケンスをヨーロッパナラ *Q. robur* Linnaeus の全ゲノム配列にマッピングして得た 2772 座位の一塩基多型 (SNP) 遺伝子型を解析した。

4. 研究成果

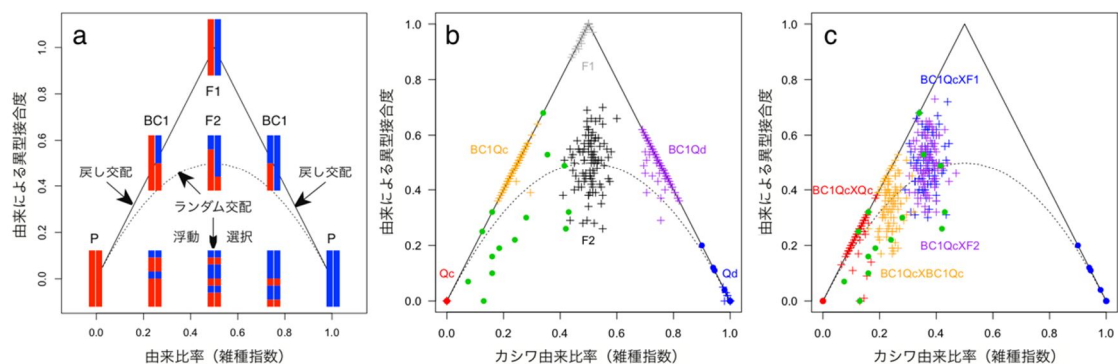
北海道北部の海岸のミズナラは、カシワに由来する比率が北海道の内陸のミズナラよりも高かった ($P < 0.001$)。しかし、モンゴリナラ(さらに、コナラあるいはサハリンのミズナラ)に由来する比率は、海岸と内陸のミズナラの間で違うとは言えなかった ($0.217 < P < 0.767$)。よって、海岸のミズナラはカシワに由来する対立遺伝子を持つミズナラであるという仮説が支持さ

れ、その他の仮説は支持されなかった。



祖先多型の不完全系統仕分け incomplete lineage sorting と区別して、カシワとの交雑が起こったのかを検証した。内陸のミズナラ（非交雑群）、海岸のミズナラ（交雑群）、海岸のカシワ（由来群）、ヨーロッパナラ（外群）を用いた SNP 遺伝子型による ABBA-BABA 検定の結果、検定量 $D = 0.044$ となり、 $D \leq 0$ となる確率は $P < 0.001$ となった。ゆえに、ほとんどの座位で共通祖先からの伝達によって対立遺伝子が共有されていたものの、カシワで生じた対立遺伝子を交雑によって海岸のミズナラが受け取っていたことがわかった。

ゲノム構成は、カシワに由来する対立遺伝子の比率 S 、および、ミズナラとカシワに由来する対立遺伝子の異型接合の座位の比率 H によって表される。SNP 遺伝子型から S と H を推定したところ、海岸のミズナラは $0.06 \leq S \leq 0.44$ および $0.00 \leq H \leq 0.69$ の範囲に散らばった。この範囲は、シミュレーションから得られた交雑第二世代 F_2 やミズナラへの戻し交配第一世代 BC_1 の範囲とは違ってしたが、ミズナラへの BC_1 を交雑第一世代 F_1 、 F_2 、またはミズナラにかけ合わせた交配や、ミズナラへの BC_1 どうしの交配で生まれる世代の範囲と重なっていた。よって、北海道北部の海岸のミズナラは、ミズナラとの戻し交配第一世代より後のさまざまな交配で生じた世代を含んでいると言える。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Nagamitsu Teruyoshi, Shuri Kato	4. 巻 482
2. 論文標題 Seed transfer across geographic regions in different climates leads to reduced tree growth and genetic admixture in <i>Quercus mongolica</i> var. <i>crispula</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Forest Ecology and Management	6. 最初と最後の頁 118787 ~ 118787
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.foreco.2020.118787	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Nagamitsu Teruyoshi, Uchiyama Kentaro, Izuno Ayako, Shimizu Hajime, Nakanishi Atsushi	4. 巻 Early View
2. 論文標題 Environment dependent introgression from <i>Quercus dentata</i> to a coastal ecotype of <i>Quercus mongolica</i> var. <i>crispula</i> in northern Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 New Phytologist	6. 最初と最後の頁 Early View
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/nph.16131	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 永光輝義	4. 巻 62
2. 論文標題 北海道北部海岸のいわゆる「モンゴリナラ」はカシワの遺伝子を受け取ったミズナラである	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 北海道の林木育種	6. 最初と最後の頁 31-35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -
1. 著者名 Nagamitsu Teruyoshi, Shimizu Hajime, Aizawa Mineaki, Nakanishi Atsushi	4. 巻 132
2. 論文標題 An admixture of <i>Quercus dentata</i> in the coastal ecotype of <i>Q. mongolica</i> var. <i>crispula</i> in northern Hokkaido and genetic and environmental effects on their traits	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Plant Research	6. 最初と最後の頁 211 ~ 222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10265-018-01079-2	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5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 永光輝義
2. 発表標題 異なる気候環境へのミズナラの種苗移動が生育と交配および次世代の生育に与える影響
3. 学会等名 日本生態学会第68回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永光輝義
2. 発表標題 北海道北部におけるストレスに強いカシワからミズナラの海岸生態型への環境に依存した遺伝的浸透
3. 学会等名 第51回種生物学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nagamitsu T
2. 発表標題 Genetic introgression of <i>Quercus dentata</i> to the coastal ecotype of <i>Q. mongolica</i> var. <i>crispula</i> and genetic and environmental effects on leaf and shoot traits of the two species along coast-inland gradients in northern Hokkaido, Japan (カシワからミズナラの海岸生態型への遺伝的浸透と北海道北部の海岸-内陸勾配におけるそれら2種の葉と枝の形質への遺伝と環境の効果)
3. 学会等名 東アジア生態学会第8回国際大会 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nagamitsu T
2. 発表標題 Environment-dependent introgression from stress tolerant <i>Quercus dentata</i> to coastal ecotype of <i>Q. mongolica</i> var. <i>crispula</i> in northern Japan (日本北部におけるストレスに強いカシワからミズナラの海岸生態型への環境に依存した遺伝的浸透)
3. 学会等名 日本生態学会第66回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中西敦史、永光輝義、清水一
2. 発表標題 北海道海岸林におけるミズナラ・カシワ交雑帯の実態
3. 学会等名 第129回日本森林学会大会S15-4
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

異なる地域のどんぐりを植えて生じる悪影響 ミズナラの種苗移動による成長低下と遺伝的交雑
<http://www.ffpri.affrc.go.jp/press/2021/20210114/index.html>
 カシワから遺伝子を受け取って、内陸のミズナラが海岸で生育できるようになった
<http://www.ffpri.affrc.go.jp/research/saizensen/2019/20190913-01.html>

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

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