

機関番号：11301
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20380084
 研究課題名（和文）
 生物間相互作用に基づく種多様性維持メカニズムの解明と生態系機能に関する研究
 研究課題名（英文）
 Study on mechanisms of creating species diversity based on biotic interactions and ecosystem function
 研究代表者
 清和 研二（SEIWA KENJI）
 東北大学・大学院農学研究科・教授
 研究者番号：40261474

研究成果の概要（和文）：

地形依存的な樹種の空間分布の違いが種多様性を創る事を大面積試験地で明らかにした。さらに病原菌の種特異性が種多様性を創る事を野外実験および室内接種試験から明らかにした。種多様性を説明するトレードオフ仮説の成立を実生の物質分配から明らかにした。スギ人工林における強度間伐が広葉樹の発芽・定着を促すことによって種多様性を高め、同時に水源涵養機能を高める事を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

We revealed that topographic variation, species-specific pathogen attack and trade-offs in resource allocation created species diversity in temperate deciduous forests. Intensive thinning enhanced the species-richness and subsequent ecosystem functioning in conifer plantations.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	7,300,000	2,190,000	9,490,000
2009 年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2010 年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
年度			
年度			
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：種多様性・生態系機能・ジャンゼン-コンネル仮説・病原菌・スギ人工林・強度間伐

1. 研究開始当初の背景

温帯林の種多様性維持メカニズムは主に非生物環境の不均一性から説明され、生物間の相互作用に基づく説明は少ない。熱帯では、病原菌や植食者との相互作用を仮定したジャンゼン・コンネル仮説（J-C 仮説）やトレ

ードオフ仮説が温帯でも注目されているが、温帯での検証例は極めて少ない。また、種多様性と生態系機能の関連性に関する研究は、草地群落や耕作地では多いが、森林ではほとんどない。生態系機能についての実証例が蓄積されれば、例えば人工林における広葉樹と

の混交林化などの持続的管理の理論的支柱となると考えられる。

2. 研究の目的

本研究は日本の冷温帯の落葉広葉樹林において、どのようなメカニズムで種多様性が維持されているのか、さらには種多様性が増すことによって森林の生態系機能が向上するのかを、野外の大面積試験地の継続調査および野外・室内の操作実験から明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

- (1) 大面積試験地(6ha)で調実生・稚樹・成木の種多様性と環境の資源量との関連を解析した。
- (2) 3種の母樹下に3種の種子を播種し、自母樹下での種特異的菌類の攻撃から J—C 仮説を検証した。
- (3) 多犯性の病原菌を複数のホストに接種し病原菌の種特異性の判定をおこなった。
- (4) 親木からの距離別に実生・稚樹のズキ輪紋葉枯れ病による死亡率を調べ、同時に距離別に病害発生率・菌体トラップ量、病葉のトラップ量を調べ、両者の関連性を解析し、J—C 仮説を検証した。
- (5) 広葉樹を明所・暗所で生育させ、成長と防衛・貯蔵にトレードオフがあるのかを検証した。
- (6) 間伐強度別スギ人工林において、間伐後5年間の種多様性回復と水浸透能、生産量の関係を調べた。
- (7) 森林の施業管理の仕方と萌芽枝発生抑制機構の解明を行った。

4. 研究成果

- (1) 種多様性に富む広葉樹天然林に設定した大面積試験地 (6ha) では水分と栄養塩濃度 (N) は尾根が最も低く、山腹斜面、谷の順に高くなった。また、この地形依存的に分布パターンが決定されて分布する種が 64 種中 22 種となり、地形は多様性を形

成する大きな要因であることが明らかになった。さらに菌類の種特異的攻撃による距離依存的死亡が広範囲に見られることによって細かいスケールでの多様性が維持されていることが示唆された。

- (2) ブナ林の主要構成種であるウワミズガラ、ミズキ、アオダモにおいてそれぞれの種子をそれぞれの親木の下に播種する交互播種試験を行い、当年生実生の死亡率を比較したところ、3種いずれの成木下でも同種実生が他種実生より死亡率が高いことを明らかにした。このような成木下における同種実生の死亡率の高さは、一つは立ち枯れ病 (*Colletotrichum anthrisci*) が、他種実生よりも同種実生をより多く加害、死亡させていたことに因ることを DNA 解析および病原菌の形態観察から明らかにした
- (3) 広葉樹 4 種それぞれの親木の下で死亡した同種の実生から立ち枯れ病菌 (*Colletotrichum anthrisci*) を採取し、そのうち 2 種にそれぞれを接種し宿主特異性を調べた。DNA 解析からそれぞれの菌株がすべて同一種であることが確認された。親木由来にかかわらず単離した *C. anthrisci* の菌株は 2 種の実生のダメージを引き起こしたが、罹病率は同種由来の菌株の方が他の 3 種由来のものよりも高かった。これらの事実は、病原菌 *C. anthrisci* は森林内のどこでも普通に見られる菌で多くの樹種の実生を加害するものの、その毒性は同種由来の菌株の方が他種由来より強く、これは菌株の局所適応による宿主特異性の進化を示している。
- (4) 大面積試験地 (6.0ha) に生育している全個体のミズキの空間分布パターンを解析した。ミズキの子個体は最初は親の下に種子が散布され成木と同所的に分布するが、個

体サイズの増加とともに成木から離れた分布パターンを形成していくことが明らかになった。この結果は J-C 効果が稚樹・幼木段階まで持続することを示唆した。ミズキの実生や稚樹では成木と共通の輪紋葉枯れ病が発生しており、成木に近いほど感染率が高く、成木由来の病害が、成木だけではなく実生や稚樹にも加害し、J-C 効果はより長期間持続して分布パターンの形成に大きく影響すると考えられた。

(5) 山地播種試験でミズナラは林内での生存率は高いがギャップでの相対成長率 (RGR) は低くなった。一方、クリはギャップでは勢い良く成長するが林冠下での生存率は低くなり、トレードオフ関係が見られた。したがって、一つの森林内にギャップが混在するような環境ではこの 2 種は共存できることを示している。また 耐陰性の高いミズナラは成長・防御・貯蔵といった 3 つの分配先の中でも防御への炭素分配を特に多くし、植食者や病原菌などの活動性の高い林内での生存を図ろうとしているものと考えられる。一方、光要求性の高いクリは、防御よりも成長に多く分配し、個体どうしの競争が激しいギャップでのすばやい成長を可能にし、定着を容易にしているものと考えられた

- (6) スギ人工林における間伐が広葉樹の発芽パターンに及ぼす影響
- スギ人工林の無間伐区と間伐区に広葉樹の種子を播種したところ、間伐区では環境シグナル(変温, R:FR 比)の好転により遷移初期種の発芽率が増加した。広葉樹の発芽には、変温依存性、高 R:FR 比依存性、さらには両者へ依存するもの、両者

ともに依存しないものに分けられた。種子サイズの大きなものほど変温依存性が高い事が明らかになった。

- (7) スギ人工林では強度間伐ほど R:FR 比、変温幅が増加し、リター量が減ったので遷移初期種の発芽が促され、遷移初期種の割合が高まった。また、強度間伐ほど遷移系列に関わらず実生の生存率・成長量が高くなった。その結果、強度間伐ほど種多様性が最大になり、針葉樹-広葉樹混交林造成には強度間伐が最適だと考えられた。
- (8) スギ人工林では強度間伐区ほど表層土の水の浸透能が高くなり、種多様性の回復と共に水源涵養機能が回復している事が示された。

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 20 件)

1. Hasegawa E, Ota Y, Hattori T, Sahashi N, T. Kikuchi. Ecology of Armillaria species on conifers in Japan Forest Pathology. 査読有、2011 年、In press.
2. Seiwa, K., Kikuzawa, K. Close relationship between leaf life span and seedling relative growth rate in temperate hardwood species. Ecological Research 査読有、26 巻、2011 年、173-180
3. Cheng, X., Umeki, K., Honjo, T., Shao, P. (2011) Height growth, the diameter-height relationship, and branching architecture of Pinus massoniana and Cunninghamia lanceolata in early regeneration stages in Anhui Province, eastern China: Effects of light intensity and regeneration mode. Forestry Studies in China 査読有、13 巻、1-12.
4. Sahashi N. Akiba M, Ishihara M, Miyazaki K, Kanzaki N. Cross Inoculation Tests with Phellinus noxius Isolates from Nine Different

- Host Plants in the Ryukyu Islands, Southwestern Japan. *Plant Disease*. 査読有、94 巻、2010 年、358-360
5. Sahashi N., Akiba M. Ishihara M. Miyazaki K. Seki S. Distribution of genets of *Cylindrobasidium argenteum* in a River Valley Forest as determined by Somatic Incompatibility, and Significance of Basidiospores for its Dispersal. *Mycological Progress*, 査読有、9 巻、2010 年、425-429
 6. Hashizume Y. Fukuda K. Sahashi N. Effects of summer temperature on fungal endophyte assemblages in Japanese beech (*Fagus crenata*) leaves in pure beech stands. *Botany* 査読有、88 巻、2010 年、266-274
 7. Imaji, A., and Seiwa, K., Carbon allocation to defense, storage, and growth in seedlings of two temperate broad-leaved tree species, *Oecologia*, 査読有、162 巻、2010 年、273-281
 8. Ohno Y, Umeki K. Terazawa K, Yasaka M, Watanabe I, Takiya M. Competition as a predisposing factor of crown dieback in a secondary forest of *Betula Maximowicziana* in Hokkaido, northern Japan. *Journal of Forest Research* 査読有、15 巻、2010 年、161-168.
 9. Takiya M., Koyama, H., Umeki K., Yasaka M., Ohno Y, Watanabe I., Terazawa K. The effects of early and intense pruning on light penetration, tree growth, and epicormic shoot dynamics in a young hybrid larch stand. *Journal of Forest Research* 査読有、15 巻、2010 年、149-160.
 10. Seiwa, K., Is the Janzen–Connell hypothesis valid in temperate forests?, *Journal of Integrated Field Science*, 査読有、7 巻、2010 年、3-8
 11. Imaji, A., Seiwa, K., Carbon allocation and growth-survival trade-offs in temperate tree species, *Journal of Integrated Field Science*, 査読有、7 巻、2010 年、9-13
 12. 清和研二、広葉樹林化に科学的根拠はあるのか？ — 温帯林の種多様性維持メカニズムに照らして — *森林科学*、査読有、59 巻、2010 年、3-8
 13. Seiwa, K., Ando, M., Imaji, A., Tomita, M. and Kanou, K., Spatio-temporal variation of environmental signals inducing seed germination in temperate conifer plantation and natural hardwood forests in northern Japan, *For. Ecol. Manage.*、査読有、257 巻、2009 年、361-369
 14. Tozawa M., Ueno, N., and Seiwa, K., Compensatory mechanisms for reproductive costs in the dioecious tree *Salix integra*, *Botany*, 査読有、87 巻、2009 年、315-323
 15. Yamazaki, M., Iwamoto, S., and Seiwa, K., Distance- and density- dependent seedling mortality caused by several fungal diseases for eight tree species co-occurring in a temperate forest, *Plant Ecol.*、査読有、201 巻、2009 年、181-196
 16. Hasegawa, Y., Suyama, Y. and Seiwa, K., (2009) Pollen donor composition during the early phases of reproduction revealed by DNA genotyping of pollen grains and seeds of *Castanea crenata*, *New Phytol.*, 査読有、182 (4) 巻、2009 年、994-1002.
 17. Seiwa, K., Suyama, Y. (2009), Recent research topics in ecological and genetic approaches for sustainable forest management. *Tohoku J. Agri. Res.*, 査読無、60 巻、2009 年、59-62
 18. 清和 研二 (2009) 広葉樹林化を林業再生の起点にしよう —土地利用区分ごとの混交割合とその生態学的・林学的根拠—、*森林技術*、査読無、811 巻、2009 年、2-8
 19. Seiwa, K., Miwa, Y., Sahashi, N., Kanno, H., Tomita, M., Ueno, N., and Yamazaki, M., Pathogen attack and spatial patterns of juvenile mortality and growth in a temperate tree, *Prunus grayana*. *Can. J. For. Res.*、査読有、38(9) 巻、2009 年、2445–2454
 20. Seiwa, K., Tozawa, M., Ueno, N., Kimura, M., Yamazaki, M. and Maruyama, K., Roles of cottony hairs in directed seed dispersal in riparian willows. *Plant Ecology*、査読有、198 巻、2009 年、27-35
- [学会発表] (計 23 件)
1. 今治安弥・清和研二. 落葉広葉樹 2 種における成長・防御・貯蔵への炭素分配パターン. 日本生態学会 2010 年 3 月 15-20 日、東京
 2. 上野真郷・清和研二. ミズキ母樹下における自種の死亡と他種の定着. 日本生態学会大会 日本生態学会 2010 年 3 月 15-20 日、東京
 3. 清和研二、シンポジウム『持続可能な森林管理・林業経営に森林生態学はどう貢献できるのか?』生態学会東北地区会、2009 年 12 月

- 19 日、大崎
4. Seiwa, K., Is Janzen-Connell hypothesis valid in temperate forest?, 7th International Symposium on Integrated Field Science, 2009年10月10日、仙台
 5. Yamazaki, M., Seiwa, K. (2009) Distance- and density-dependent seedling mortality and host specific differentiation of the fungal pathogens near the conspecific adult trees in a temperate forest, 7th International Symposium on Integrated Field Science, 2009年10月10日、仙台
 6. Imaji, A., Seiwa, K. (2009) Carbon allocation to defense, storage, and growth in seedlings of two temperate broad-leaved tree species, 7th International Symposium on Integrated Field Science, 2009年10月10日、仙台
 7. Ueno, M., Yamazaki, M., Seiwa, K. (2009) Higher seedling mortality of conspecific seedlings compared to heterospecific ones beneath the adults for three hardwood species, 7th International Symposium on Integrated Field Science, 2009年10月10日、仙台
 8. 清和研二, 基調講演: 人工林の種多様性回復 —その科学的根拠と方向性—, 東北森林科学会 2009年8月24-25日、仙台
 9. 清和研二, 安藤真理子, スギ人工林の間伐による環境シグナルの変化と種子発芽について, 日本森林学会 2009年3月25日、京都
 10. 滝谷美香・梅木清・八坂道泰・渡辺一郎・大野泰之・清和研二、北海道のカラマツ人工林の現況と収穫予測 日本森林学会、2009年3月25日、京都
 11. 五十嵐知宏・上野直人・清和研二、サワグルミの実生定着における風散布と水散布の影響、日本生態学会、2009年3月3月17日、盛岡
 12. 上野直人・寺原幹生・清和研二 (2009) 冷温帯落葉広葉樹林主要構成種4種における生育段階ごとの空間分布、日本生態学会、2009年3月17日、盛岡
 13. 長谷川陽一・陶山佳久・清和研二、クリの花粉・果皮・実生のDNA分析による花粉・種子散布パターンの解析、日本生態学会、2009年3月17日、盛岡
 14. 山崎実希、清和研二、ミズキの生育段階に伴う空間分布パターンの変化 -母樹からの距離依存的な病害の影響-、日本生態学会 2009年3月14日、福岡
 15. 安藤真理子・清和研二、落葉広葉樹数種の種子発芽におけるギャップ検出機能—R/FR比と変温の相対的重要性—、日本生態学会、2009年3月14日、福岡
 16. 清和研二、温帯林における実生の成長と生存のトレードオフ —発芽タイミングの重要性—、第55回日本生態学会大会 (福岡国際会議場、福岡、2009年3月14日) (ポスター発表)
 17. 五十嵐知宏・上野直人・清和研二、融雪洪水によるサワグルミ種子の散布、日本生態学会大会、2009年3月14日、福岡
 18. 長谷川陽一・陶山佳久・清和研二、クリの訪花昆虫に付着した花粉一粒ずつのDNA分析による送粉パターンの解析、日本生態学会大会、2009年3月14日、福岡
 19. 五十嵐知宏・上野直人・清和研二、サワグルミにおける種子の水散布と実生定着の関係、生態学会東北地区会 2008年11月8日、弘前
 20. 上野直人・寺原幹生・清和研二、資源環境分布に及ぼす地形の効果、植生学会、2008年10月12日、東京
 21. Seiwa, K. and Miwa, Y. Effects of landslides on community structure in a Japanese beech forest, IUFRO-CTIA JOINT CONFERENCE “Adaptation, Breeding and Conservation in the Era of Forest Tree Genomics and Environmental Change” 2008年8月26日、函館
 22. 上野直人・寺原幹生・清和研二、冷温帯落葉樹林における水分、養分、光の空間分布構造、東北森林科学会、2008年8月25-26日、福島
 23. 清和研二・安藤真理子・今治安弥・富田基史・加納研一、スギ人工林と落葉広葉樹林における種子発芽と環境シグナル、東北森林科学会、2008年8月25-26日、福島
- [図書] (計6件)
1. Hasegawa, Y., Suyama, Y., and Seiwa, K., Difference in pollen donor composition during the early phases of reproduction as revealed by DNA analysis of pollen grains and seeds in the monoecious tree *Castanea crenata*. Pp. 33-46 In: Single-pollen genotyping. Yuji Isagi & Yoshihisa

- Suyama (Eds.) 123pp. Springer, Tokyo (2010)
2. 佐橋憲生、文永堂出版、「樹木病害」、眞山、難波（編）植物病理学、2010、1-50 ページ
 3. 豊益 知伸、吉岡 俊人、清和 研二、文一総合出版、「発芽と光」、吉岡 俊人、清和研二編 発芽生物学、2009、71-86 ページ
 4. 清和 研二、文一総合出版、「落葉広葉樹の発芽タイミング」、吉岡 俊人・清和 研二編 発芽生物学、2009、153-172ページ
 5. 小山 浩正・清和 研二、文一総合出版、「生態学的発芽実験」、吉岡俊人・清和研二編 発芽生物学、2009、327-343 ページ
 6. 清和 研二、日本林業調査会「ハルニレ」、日本樹木誌編集委員会編、日本樹木誌、2009、529-548ページ

〔産業財産権〕

○出願状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

清和 研二 (SEIWA KENJI)

東北大学・大学院農学研究科・教授

研究者番号：40261474

(2)研究分担者

梅木 清 (UMEKI KIYOSHI)

千葉大学・大学院園芸学研究科・准教授

研究者番号：50376365

佐橋 憲生 (SAHASHI NORIO)

独立行政法人森林総合研究所・九州支所・
グループ長

研究者番号：50376365