

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 15 日現在

機関番号：32658

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20370015

研究課題名（和文） 植物のアーキテクチャ：伸長成長と力学的安定性のトレードオフ

研究課題名（英文） PLANT ARCHITECTURE: TRADE-OFF BETWEEN GROWTH AND MECHANICAL STABILITY

## 研究代表者

廣瀬 忠樹（HIROSE TADAKI）

東京農業大学・国際食料情報学部・教授

研究者番号：90092311

研究成果の概要（和文）：群落密度が植物のアーキテクチャに与える影響をメタマーの伸長成長と力学的強度に着目して解析した。群落個体は力学的安定性を犠牲にして伸長成長を行う。これに対し孤立個体は伸長成長を抑え、分枝成長により受光量を大きくする。このため窒素利用効率は孤立個体で大きく、光利用効率は群落個体で大きい。力学的強度の指標であるヤング率は茎の体積重とともに増加する。群落個体は、体積重は小さいが体積重あたりのヤング率は大きく、倒伏の限界まで伸長する。

研究成果の概要（英文）：We studied the effect of planting density on plant architecture with particular attention to growth and mechanical strength of metamers. Crowded plants elongated their stem at the expense of mechanical stability. On the other hand, uncrowded plants reduced elongation and increased light interception by lateral extension of branches. Nitrogen use efficiency was higher in uncrowded plants, whereas light use efficiency was higher in crowded plants. Yang's modulus of elasticity increased with increasing dry mass density of stem. Stems of crowded plants had a lower dry mass density, but Yang's modulus per dry mass density was higher. However, they increased stem height to the limit of lodging.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2009年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2010年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2011年度	3,100,000	930,000	4,030,000
総計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：基礎生物学，生態・環境

キーワード：生理生態

## 1. 研究開始当初の背景

植物のアーキテクチャとは高さや分枝，葉の配置など，受光体制や力学的安定性に関わる植物の外部形態をいう。植物は節間と上位節に付く葉と腋芽から構成されるメタマーを単位にして成長する。植物個体は群落を形成すると，光をめぐる競争する。丈の高い個体は競争に有利である。しかし，自重に耐え風

などの外力に対して力学的安定性を維持するには，少なくとも高さの 3/2 乗に比例して茎の直径を大きくする必要があり，支持コストは非線形に大きくなる。そこで群落内の個体の多くは力学的安定性を犠牲にして高さ成長することになる。

## 2. 研究の目的

アーキテクチャは伸長成長と力学的安定性のトレードオフによって決まることを仮説に、トレードオフが成立する機構を、メタマーの伸長成長と力学的安定性に係わる特性を解析することにより明らかにすること、アーキテクチャが、受光量を介して植物の光合成、成長、繁殖に与える影響を明らかにすることを目的にした。

### 3. 研究の方法

シロザとオオオナモミの個体をポット栽培した。ポットの間隔を変えて高密度群落個体、低密度孤立個体を得た。両個体は同一栄養条件で生育したが、受光量は異なった。メタマーごとに長さや直径を計測した。葉面積、各器官の生重、乾重、窒素を測定し個体の成長解析を行った。葉面積分布によって推定した受光量から光利用効率を、窒素吸収量から窒素利用効率を計算した。茎については弾性係数(ヤング率)、破壊応力を計測し、茎の座屈安全率・倒伏耐性を算出した。

### 4. 研究成果

(1) シロザの孤立個体、群落個体についてメタマーの長さや直径の計測によって、光環境の違いが植物のアーキテクチャに与える影響を解析した。主軸成長と分枝成長および伸長成長と肥大成長の意義を、受光体制と力学的安定性の面から議論した。まとめた論文(Nishimura et al. 2010)は Ecological Research (日本生態学会編集, Springer-Verlag 発行) 論文賞を受賞した。また、シロザ群落内個体の背ぞろいにいたる光量と光質、機械的刺激の役割を明らかにした(Nagashima & Hikosaka 2011, 2012)。

(2) オオオナモミにおいて、受光量は孤立個体、群落個体で大きな違いがあったが、窒素吸収量と乾物成長量に大きな差はなかった。その機構を成長解析と窒素利用効率の解析により明らかにし、あわせて両手法の統合を試み、新しい方法論を提出した(Watari et al. 2012)。メタマーの伸長と力学的安定性については今年の実験データを加え、現在解析を行っている。茎の弾性係数(ヤング率)は茎の乾物密度と正の相関がある。群落個体は同一の乾物密度で比べると高い弾性係数をもつことを見いだした。

(3) 窒素固定する通常の品種と固定しない突然変異の2系統のダイズの成長と種子生産に与える大気CO<sub>2</sub>濃度の影響について行った実験データを解析し、論文にまとめた(Oikawa et al. 2010)。窒素固定系統はCO<sub>2</sub>濃度上昇により窒素固定が促進し収量は大きく増加し

たが、非固定系統では有意な増加は認められなかった。同じ実験によって得た葉の動態データは解析が終わり、論文執筆中である。また、ダイズを使って開花後の窒素施肥が収量に与える影響を、種子生産に必要な窒素量(需要)に対する窒素供給(窒素固定と栄養器官貯蔵窒素の転流)の面から解析した(Kinugasa et al. 2011)。これは繁殖収量に関するモデル(Hirose et al. 2005)をダイズに適用、解析したものである。

(4) 植物の窒素利用効率は Berendse & Aerts (1987)によって窒素生産力と平均滞留時間の積として再定義された。しかし、非定常過程にある植物成長に窒素利用効率概念を適用するには、平均滞留時間は、(失った窒素量ではなく)吸収した窒素量あたりの積算植物窒素量として改めて定義しなければならないこと、それによってのみ Berendse & Aerts の窒素利用効率の定義の当初の定義(Hirose 1971, 1975; Vitousek 1982)と矛盾しないことを示した(Hirose 2011)。論文(Hirose 2011)は本年 Faculty of 1000 (F1000, 生物学医学関係論文のトップ2%相当)に選ばれた。

(5) これまで葉レベルでも窒素利用効率が定義されてきたが、その問題点を指摘し、葉窒素利用効率は葉に転流した窒素量あたりの剰余生産(葉の光合成から葉の呼吸を引いたもの)として定義すべきことを提唱した(Hirose 2012)。このように定義することで、葉窒素の平均滞留時間と葉窒素の生産力(光合成窒素利用効率)の積として葉の窒素利用効率を解析することが可能になることを示した。ときに曖昧であった「植物の窒素利用効率」・「葉の窒素利用効率」・「葉の光合成窒素利用効率」の間の関係が初めて明示されたことになる。

(6) 葉レベルの平均滞留時間の概念は窒素だけでなく、葉数、葉面積、葉重にも適用でき、それぞれ異なった意味をもつこと、とくに葉数の平均滞留時間は葉の寿命に一致することを示した。また、利用効率の概念も葉数、葉面積、葉重に適用できること、葉数の利用効率は葉の生涯光合成生産量に一致すること、葉面積と葉重の生産力は従来の純同化速度に一致することを論証した(Hirose & Oikawa 2012)。この論文で展開された理論によって、これまでの葉群動態の研究が統合され、新しい展開の時代を迎えることが期待される。

## 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 33 件, すべて査読有)

Hirose T (2012) Leaf-level nitrogen use efficiency: definition and importance. *Oecologia* DOI 10.1007/s00442-011-2223-6. 査読有

Hirose T, Oikawa S (2012) Mean residence time of leaf number, area, mass and nitrogen in canopy photosynthesis. *Oecologia* DOI 10.1007/s00442-012-2266-3. 査読有

Nagashima H, Hikosaka K (2012) The roles of mechanical stimuli and light quality in height convergence in crowded *Chenopodium album* stands. *New Phytologist*, in press. 査読有

Watari R, Nagashima H, Hirose T (2012) Growth and nitrogen use in *Xanthium canadense* grown in an open or in a dense stand. *Physiologia Plantarum* 144: 335-345. 査読有

Hirose T (2011) Nitrogen use efficiency revisited. *Oecologia* 166: 863-867. 査読有  
Kinugasa T, Sato T, Oikawa S, Hirose T (2011) Demand and supply of N in seed production of soybean (*Glycine max*) at different N fertilization levels after flowering. *Journal of Plant Research* 125: 275-281. 査読有

Muller O, Hirose T, Werger MJA, Hikosaka K (2011) Optimal use of leaf nitrogen explains seasonal change in leaf nitrogen content of an understory evergreen shrub. *Annals of Botany* 108: 529-536. 査読有

Nagashima H, Hikosaka K (2011) Plants in a crowded stand regulate their height growth so as to maintain similar heights to neighbours even when they have potential advantages in height growth. *Annals of Botany* 108: 207-214. 査読有

Nishimura E, Suzaki E, Irie M, Nagashima H, Hirose T (2010) Architecture and growth of an annual plant *Chenopodium album* in different light climates. *Ecological Research* 25: 383-393. 査読有

Oikawa S, Miyagi K-M, Hikosaka K, Okada M, Matsunami T, Kokubun M, Kinugasa T, Hirose T (2010) Interactions between elevated CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>-fixation determine soybean yield – a test using non-nodulated mutant. *Plant and Soil* 330: 163-172. 査読有

Matsumoto Y, Oikawa S, Yasumura Y, Hirose T, Hikosaka K (2008) Reproductive yield of individuals competing for light in a dense stand of *Xanthium canadense*. *Oecologia*

157: 185-195. 査読有

Oikawa S, Hikosaka K, Hirose T (2008) Does leaf shedding increase the whole-plant carbon gain despite some nitrogen being lost with shedding? *New Phytologist* 178: 617-624. 査読有

[学会発表](計 55 件)

Hikosaka K, Anten NPR (2012) Modelling game of leaf dynamics in a leaf canopy. EAFES 5, Ohtsu, Japan. March 2012

中村和輝, 及川真平, 廣瀬忠樹 窒素施肥がイネの分けつと葉群動態に与える影響 日本生態学会第 58 回大会 札幌 2011 年 3 月 8 日

西村依里子, 須崎絵美, 入江満美, 長嶋寿江, 廣瀬忠樹 異なる光環境で生育した植物のアーキテクチャと成長・資源利用 日本生態学会第 57 回大会 東京 2010 年 3 月 16 日

長嶋寿江, 彦坂幸毅 茎への重量負荷は茎の成長に影響するか? 日本生態学会第 57 回大会 東京 2010 年 3 月 16 日

Hikosaka K. Variation in photosynthetic capacity: How and why? JSPS Colloquium “Green chemistry” Stockholm, Sweden. 24 May 2009

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

廣瀬 忠樹 (HIROSE TADAKI)  
東京農業大学・国際食料情報学部・教授  
研究者番号: 90092311

(2) 研究分担者

彦坂 幸毅 (HIKOSAKA KOUKI)  
東北大学・大学院生命科学研究科・教授  
研究者番号: 10272006  
衣笠 利彦 (KINUGASA TOSHIHIKO)  
鳥取大学・農学部・助教  
研究者番号: 80403377

(3) 連携研究者

長嶋 寿江 (NAGASIMA HISAE)  
東北大学・大学院生命科学研究科・研究員  
研究者番号: 20323503