

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「植物の機能と制御」

研究課題
「寒冷圏における光ストレスと北方林の
再生・維持機構」

研究終了報告書

研究期間 平成14年12月～平成20年3月

研究代表者：原 登志彦
(北海道大学低温科学研究所・教授)

1 研究実施の概要

21世紀に人類が目指すべき循環型社会の構築には、環境調和型で持続可能な森林の管理が必要であるが、そのためには天然の森林再生・維持機構の理解が必要不可欠である。熱帯林にほぼ匹敵するほどの面積を占める北方林(北緯 45~70 度に存在する森林)は、地球上の全森林面積の約 1/3 を占め、その南限に位置する北海道には日本の全森林面積の約 1/4 が存在する。そして、

(A) そのような北方林で森林火災が近年急増しており、火災後の北方林再生の問題は、自然環境保護の観点からのみならず、地球温暖化ガスである二酸化炭素の吸収源確保の観点からも重要である。また、

(B) 地球温暖化の影響が最も顕著に現れるのは、北方林が存在する緯度帯であろうと懸念されており、その実態解明と影響予測は急務である。

このように北方林はその生態系と環境の悪化が危惧されている森林である。しかしながら、

- ① 熱帯林や温帯林に比べ、北方林にはなぜ疎林が多いのか、
 - ② 同じ森林にライフサイクルが異なる常緑樹と落葉樹が共に生育しているなど北方林の生物多様性の創出メカニズム、
 - ③ 数年に一度、森林の多くの樹木が大量開花・結実する「生り年」のメカニズム、
- など北方林の基本的な生態学的現象には、未解明の問題が多く存在する。本研究課題では、これらの問題の解明を目指す。

寒冷圏における低温や乾燥のストレスは北方林樹木が受ける光ストレスを増幅させ、植物組織中に有害な活性酸素を生じさせる。この活性酸素に対する植物の防御機構の研究は主に栽培植物に関してこれまでも多く行われている。これに対し我々は、この光ストレスが、北方林における天然の森林再生過程にとって重要である北方林樹木のライフサイクル、つまり、(1)「生り年」による多量の種子の生産、(2)それらの種子から芽生えた幼木の生存戦略(生存か枯死か)、(3)フェノロジー(生物季節)の多様性(落葉樹と常緑樹の共存)を制御していると我々は考えている(図 1-1)。すなわち、

寒冷圏における光ストレスと北方林の再生・維持機構

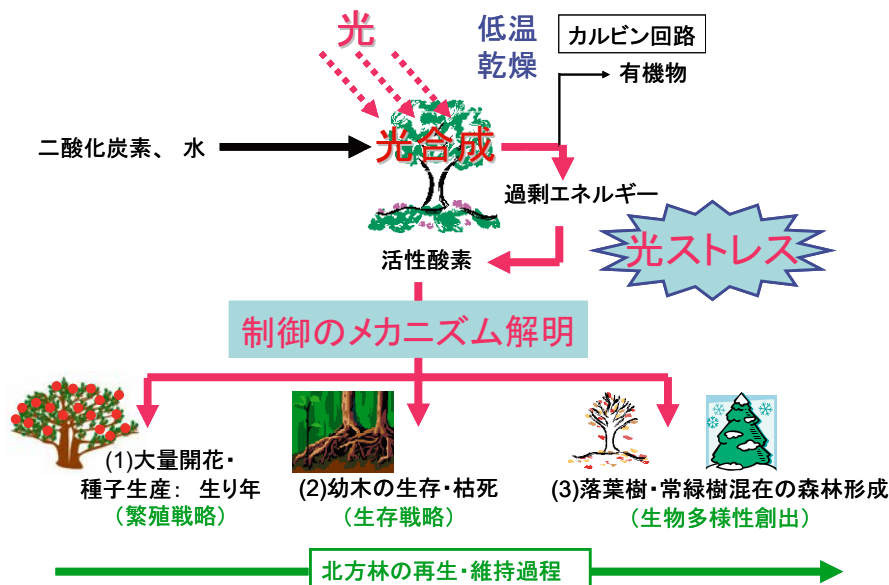


図 1-1 本研究課題「寒冷圏における光ストレスと北方林の再生・維持機構」で我々が想定しているプロセス。

(1) 北方林の生り年：繁殖戦略

数年に一度、森林の多くの樹木が大量に開花・結実する「生り年」は、多量の芽生えを供給するという意味で天然の森林再生過程にとって重要なプロセスである。光ストレスが北方林樹木の開花を促すと我々は考えており、この生理・生化学的、分子的基盤の解明を目指した。

(2) 北方林樹木の幼木個体の生存と枯死：生存戦略

幼木がどのような環境条件のもとで生育できるのかは、天然の森林再生過程にとって重要である。温帯林や熱帯林では成木が枯死した後などに出来る明るいギャップ(空所)に芽生えが定着し幼木が生育するといういわゆる「ギャップ更新」が定説として知られている。それに対し、北方林では、明るいギャップ(空所)ではなくてやや暗い成木(林冠)の下に芽生えが定着し幼木が生育するという現象を我々はカムチャツカ北方林で発見した(「林冠更新」、図 1-2)。このプロセスの生理・生化学的、分子的基盤の解明を目指した。

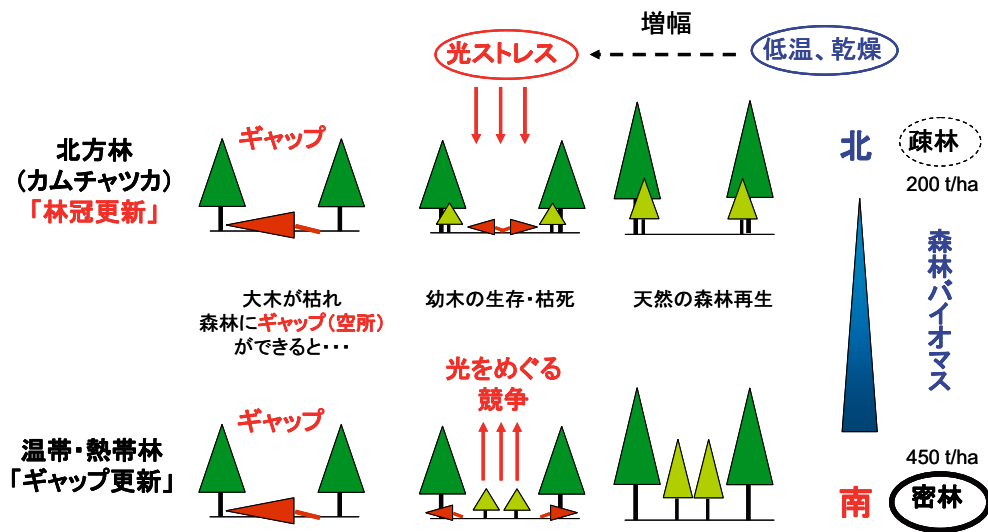


図 1-2 北方林の幼木の生存戦略(林冠更新)は、寒冷圏における乾燥と低温で増幅される光ストレスにより制御されている。その結果、北方林には疎林が多いと考えられる。

(3) 北方林樹木の落葉と常緑：生物多様性

北方林では、冬季に落葉する落葉樹と冬季でも緑の葉をつけている常緑樹が共に生育しているなどフェノロジー(生物季節)の多様性は高い。その多様性が生み出されるメカニズムを探るため、常緑樹の冬季の光合成機能の解析を中心に、これら落葉樹と常緑樹の光合成機能の季節変化の生理・生化学的、分子的基盤の解明を目指した。

以上3つの生態学的プロセスの生理・生化学的および分子生物学的な解明を目指した。以下にそれぞれの成果の概要を述べる。

(1) 開花に関わる光ストレス関連の重要物質としてグルタチオンとリノレン酸、また開花を誘導する遺伝子 *LGY1*、*LGY2* および *DAL2-like* (*AGAMOUS* 相同遺伝子) を同定した。特に、リノレン酸含量が少ない北方林樹木グイマツのクローンほど *LGY1* の発現が高く、よく開花することを見出した。また、グイマツの様々なクローンを用いて、光(酸化)ストレスの程度とその時期を変化させ開花の程度を調べる野外操作実験を北海道立林業試験場の圃場(中川町)において開始した。さらに、グイマツ幼木を人工気象室で温度を変化させて育成させる実験も行った。それらの結果、グイマツでは、5月の低温と乾燥による光ストレスにより *LGY1* が大量に発現し開花が誘導されることが示された。

(2) クロロフィル代謝系が強光ストレスによって傷害(光傷害)を受けることを見出した。クロロフィル

代謝中間体は、活性酸素類を発生させ、酸化ストレスを生み出す大変危険な物質である。クロロフィル代謝は、北方林樹木の幼木の光傷害そして枯死と密接な関係を持っていると考えられ、この観点からカムチャツカ北方林の林冠更新が理解できる(図 1-2)。強光ストレスによるクロロフィル代謝系の傷害では、クロロフィル合成の調節段階である5-アミノレブリン酸合成酵素が標的になっていることを見出した。その機構を詳細に調べたところ、遺伝子発現や酵素タンパク質の量の減少ではなく、活性阻害が原因であることも明らかになった。また、植物の細胞死に関わる光ストレス関連の重要物質としてフェオフォルビド a オキシゲナーゼ(PAO)を同定した。

(3) 常緑樹の冬の光合成機能および落葉樹の落葉過程と光ストレスの関係についていくつかの機構を明らかにした。すなわち、常緑樹イチイは冬季に、葉緑体の集合、光合成系集光装置の縮小、ELIP タンパク質による過剰エネルギー消去、電荷再結合により冬季の光ストレスを回避し、常緑が保たれていることが明らかとなった。しかし、落葉樹ミズナラではそのようなことは行わず、光ストレスの結果、老化が早まり落葉することが明らかとなった。アカエゾマツなどその他 6 種類の北方林常緑針葉樹においても ELIP 遺伝子の発現と ELIP タンパク質の蓄積の季節変化はイチイと同様であった。北方林における常緑樹か落葉樹かの違い(生物多様性)は、それぞれの樹種が異なる方法で冬季の光ストレスに対処している結果であると考えられる。

以上(1)(2)(3)の解析結果をもとに、最終目標である「北方林の持続可能な管理と保全」に向けた方策を考案した。すなわち、

(1)より、北方林の生り年を正確に予測できる方法を考案した。これと(2)を組み合わせると、天然の森林再生過程に沿う形で森林経営・管理が行え「持続可能性」が保たれることになる。さらに、優良品種の幼木に人為的に光(酸化)ストレスを与え人工的に大量開花させ、優良品種の種子を短期間に多量に得る方法も考案した(これまでは、開花する成木に生長するまで待つ必要があったため種子を得るのに長時間を要した)。

(1)(2)(3)より、北方林生態系とその多様性が保たれているメカニズムが解明でき、北方林を保全するための施策立案に応用することが可能となった。

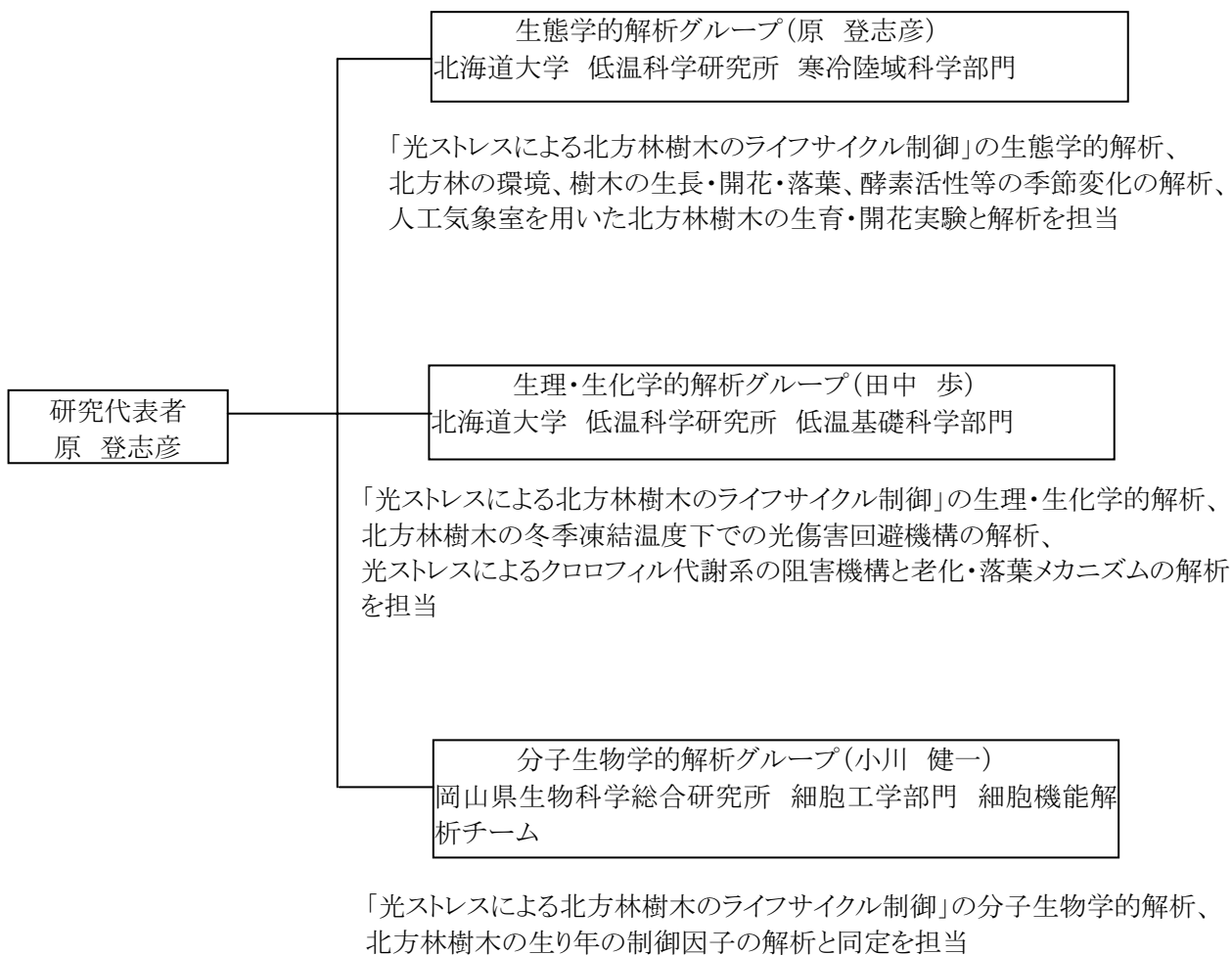
2 研究構想及び実施体制

(1) 研究構想

北方林の成立・維持機構、すなわち、繁殖戦略(生り年のメカニズム)、生存戦略(幼木の生存と枯死)、生物多様性(常緑樹と落葉樹の共存)は寒冷圏の低温と乾燥で増幅される光ストレスにより制御されている、と考えこれら生態学的プロセスを植物生理・生化学的および分子生物学的に解明することを目指した。そのために、(1)一月ごとに野外の様々な樹木から葉をサンプリングし、実験室で植物生理・生化学的、分子生物学的に解析する、(2)寒冷圏の環境が再現できる低温科学研究所の人工気象室で幼木を様々な環境条件で生育させその応答を解析する、(3)上記(1)(2)の樹木の解析に応用するため、まずは短時間で結果が得られる草本を用いた植物生理・生化学的、分子生物学的実験を行う、という3つの方法で5年間の研究を進めてきた。

以上の結果をもとに、「北方林の持続可能な管理と保全」への応用を考案した。すなわち、北方林の造林技術と北方林樹種の育種(着花促進)技術の開発である。さらに、地球温暖化に関連する北方林の炭素吸収能の推定にかかわるモデルの開発も行った。新展開の目標としては、本研究で開発した北方林樹種の育種(着花促進)技術を温帯林や熱帯林へ応用すること、さらに農作物や園芸品種にも応用することなどを考えている。

(2)実施体制



3 研究実施内容及び成果

3. 1「光ストレスによる北方林樹木のライフサイクル制御」の生態学的解析

(北海道大学低温科学研究所 生態学的解析グループ(原 登志彦))

(1) 研究実施内容及び成果

① 北方林の生り年と光ストレス: 繁殖戦略

数年に一度、森林の多くの樹木が大量に開花・結実する「生り年」は、多量の芽生えを供給するという意味で天然の森林再生過程にとって重要な最初のプロセスである。光ストレスが北方林樹木の開花を促すという我々の仮説に基づき、この生理・生化学的、分子的基盤を解明した(分子生物学的解析グループと共同研究)。

これまでに、北海道立林業試験場によるグイマツ(ロシアのカラマツ)に関する約 10 年の調査と解析の結果、5 月に低温と乾燥そして 6 月に気温が高くなると翌年は生り年になるということが統計学的に判明している。低温と乾燥は光ストレスを増幅する要因であるので、「5 月の光ストレスが強ければ翌年はグイマツの生り年である」という仮説を我々は考えている。この仮説に関して以下のような研究を行った。

北方林樹種 7 種の野外サンプルを用いた開花に関与する物質および遺伝子群の解析

北海道立林業試験場(美唄市)に生育する北方林樹種 7 種(落葉針葉樹のカラマツ、グイマツ、落葉広葉樹のミズナラ、ハウチワカエデ、シラカンバ、常緑針葉樹のトドマツ、アカエゾマツ)の葉を一月ごとにサンプリングし、生態学的解析グループと分子生物学的解析グループで共同で解析を行った。このサンプリングは 2003 年 5 月から開始し、現在も継続している。これらの詳しい解析結果(リノレン酸、グルタチオン、*LGY* 遺伝子など)は分子生物学的解析グループの項で述べる。

グイマツの幼木を用いた人工気象室内での実験

低温科学研究所には、寒冷圏の環境が再現できる人工気象室(気温 -40°C まで、照度 $1000\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ まで)が設置されている。北海道立林業試験場(美唄市)においてカラマツに接木したグイマツの幼木を作成し(2006 年)、これらの幼木を低温科学研究所の人工気象室で気温を変化させながら生育させる実験を行った(2007 年 4 月より)。開花に関与すると我々が想定している物質(リノレン酸、グルタチオン)および遺伝子群(*LGY* など)の詳しい解析結果については分子生物学的解析グループの項で述べる。

グイマツの開花に関する野外操作実験

野外操作実験として、北海道立林業試験場(美唄市)の実験苗畑にグイマツおよびカラマツのよく生るクローン各 2 クローンずつ幼木(樹高 1m 程度)を植栽し、幼木全体に対しパラコート(人為的な光酸化ストレスを与える薬剤、 $10\mu\text{M}$)とコントロール(脱イオン水のみ)の処理を 2004 年 5 月に行った。2005 年にはこれらの雌花、雄花および葉の数を計測したところ、パラコート処理によってたくさんの雌花、雄花をつける個体も見られたが、コントロール個体でも花をつける個体があり、処理による効果は統計学的に有意な差ではなかった。

そこで、2005 年には北海道立林業試験場道北支場(中川町)において、成木(樹高 10m 程度)の枝に 5 月から 6 月の鍵となる時期に処理時期を 1 週間ごとに変えて枝単位でパラコート処理($10\mu\text{M}$)を行った。2006 年に、これらの操作実験の開花状況の調査を行った。雄花、雌花、葉芽の数をパラコート処理およびコントロールの枝毎に計数した。グイマツのクローンによって、パラコート処理の花芽数に対する影響が異なり、全体として統計学的に明確な傾向は得られなかった。2006 年は、パラコートの濃度を前回の 2 倍にして($20\mu\text{M}$)、また、枝によるばらつきをなくすため、同じ個体からは同じ一次枝に由来する枝を選んで、2005 年と同様 1 週間間隔で処理を行った。2007 年に開花調査を再び行った結果、5 月の下旬にパラコート処理した個体に多くの雌花と雄花

をつけるものが多く見られた。このことは、「5月の光ストレスが強ければ翌年はグイマツの生り年である」という我々の仮説を支持しているように見える結果である。しかし、1回のみ結果であるのでまだ断定的なことは言えない。我々の仮説を検証するためには、少なくとも10年はこのような処理実験を継続しなければならないので、現在その計画を策定中である。

② 北方林の幼木の生存・枯死と光ストレス：生存戦略

幼木がどのような環境条件のもとで生育できるのかは、天然の森林再生過程にとって重要である。温帯林や熱帯林では成木が枯れた後などに出来る明るいギャップ(空所)に芽生えが定着し幼木が生育するといういわゆる「ギャップ更新」が生態学の定説としてよく知られている。これに対し、カムチャツカの北方林では、明るいギャップ(空所)ではなくてやや暗い成木(林冠)の下に芽生えが定着し幼木が生育するという現象を我々はすでに発見している(「林冠更新」)(図1-2)。このプロセスの生理・生化学的、分子的基盤を解明した(生理・生化学的解析グループと共同研究)。

2004年8月に、ギャップの中の幼木はどの程度の光ストレス・傷害を受けているのかをカムチャツカでの現地調査で確かめた。我々が1998年より調査しているロシア・カムチャツカのエゾマツ林およびグイマツ林においてギャップの中および林冠の下の幼木の葉の光合成活性をPAMを用いて野外で測定した。その結果、林冠の下の幼木の葉は光合成活性を表すパラメータFv/Fmが両種とも約0.8と健全な葉が示す値であった。しかし、ギャップの中の葉は両種ともFv/Fmが0.5~0.6と大きな光ストレス・傷害を受けていることが示された。以上のような北方林・幼木の生存戦略が北方林の「林冠更新」に関与していると考えられる。

春(4月)および秋(10月)に常緑針葉樹イチイの幼木をバイオトロンに移し強光(600 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)で低温(3 $^{\circ}\text{C}$)あるいは常温(20 $^{\circ}\text{C}$)で生育させる実験を行った。春に展開したばかりの新葉は、強光・低温条件下で急速に光化学系活性(Fv/Fm)が低下したが(強光・常温では低下しなかった)、秋の葉は、春の葉よりも高い値を保っていた(図3.1-1)。すなわち、春に展開したばかりの新葉は最も光ストレスの影響を受けやすい状態であると言える。

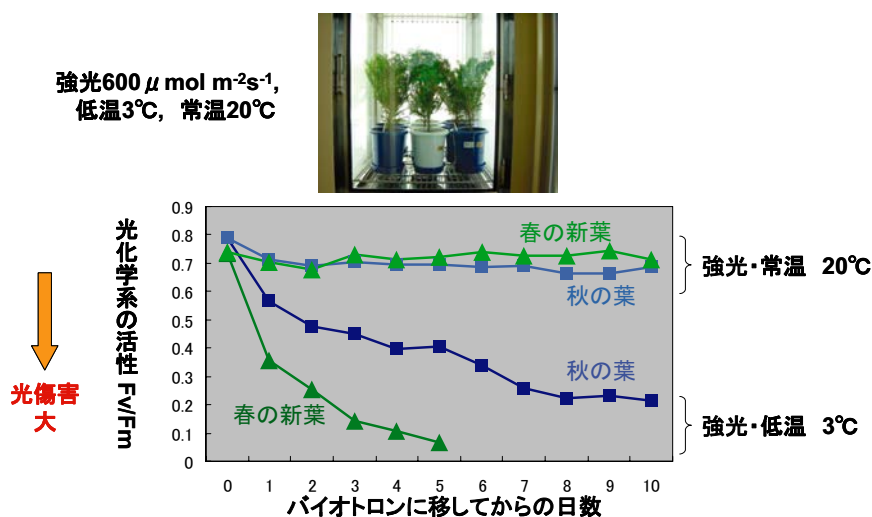


図 3.1-1 常緑針葉樹イチイを用いた光傷害(光化学系の活性)に関するバイオトロン実験。春の新葉は、秋の葉よりも強光・低温による光傷害を受けやすい。

生理・生化学的解析グループは、緑化中のキュウリ子葉に強光ストレスを与えると、クロロフィル合成系の複数の酵素が不活性化され、クロロフィル合成の中間体の Proto(porphyrin) IX や Mg-proto(porphyrin) IX が蓄積することを見出した(生理・生化学的解析グループの項に詳述)。これは新しく見出された光傷害の機構である。この傷害の樹木での生理学的役割を解析するため、屋外の北方林・常緑針葉樹イチイにおけるクロロフィル合成中間体の蓄積を調べた。その結果、春

新しく展開する緑葉に Mg-proto(porphyrin) IX が蓄積することを見出した。このことは、野外の樹木においても、春先にクロロフィル代謝系が光傷害の標的になっていることを示しており、北方林の幼木の生存・枯死にも関与していると予想される。つまり、春先にギャップ内で低温と乾燥が起こると、増幅された光ストレスにより幼木の展開中の新葉のクロロフィル代謝系が破壊され、このことが春先のギャップ内での幼木の枯死の主な原因になっていると考えられる。また、この中間体は活性酸素を生産する分子であると同時に、葉緑体シグナル分子でもあるため、樹木において何らかの生理的役割を担っていることが推測される(詳しいメカニズム等の成果に関しては、生理・生化学的解析グループの項を参照)。

③ 北方林の落葉・常緑と光ストレス：生物多様性

北方林では、冬季に落葉する落葉樹と冬季でも緑の葉をつけている常緑樹が共に生育しているなどフェノロジー(生物季節)の多様性は高い。その多様性が生み出されるメカニズムを探るため、常緑樹の冬季の光合成機能の解析を中心に、これら落葉樹と常緑樹の光合成機能の季節変化の生理・生化学的、分子的基盤を解明した(生理・生化学的解析グループと共同研究)。

落葉樹と常緑樹の光ストレス防御応答の季節変化

北海道立林業試験場(美瑛市)の標準木から2003年4月より毎月一回、葉の採取を行った。標準木として、常緑針葉樹のアカエゾマツ、トドマツ、落葉針葉樹のグイマツ、カラマツ、落葉広葉樹のミズナラ、ハウチワカエデ、シラカンバの7樹種を用いた。採取した葉からクロロフィル量、カロチノイド量、窒素量、光合成産物量、アスコルビン酸ペルオキシターゼ活性等に関して、2005年までの3年間の解析を行った。落葉樹全体としては、展葉時と落葉前に、クロロフィル当たりのキサントフィルサイクルのプールサイズや脱エポキシ化の割合、クロロフィル当たりの膜結合型アスコルビン酸ペルオキシターゼ(tAPX)活性が増加した(図3.1-2)。これらの変化には、年度、樹種、個体により若干の違いが見られたものの、落葉樹全体としての傾向は同じであり、春の展開途中の葉や秋の落葉前、老化過程の葉(窒素が回収され光合成能力が低い葉)では、光ストレス防御応答が起きていることが示された。

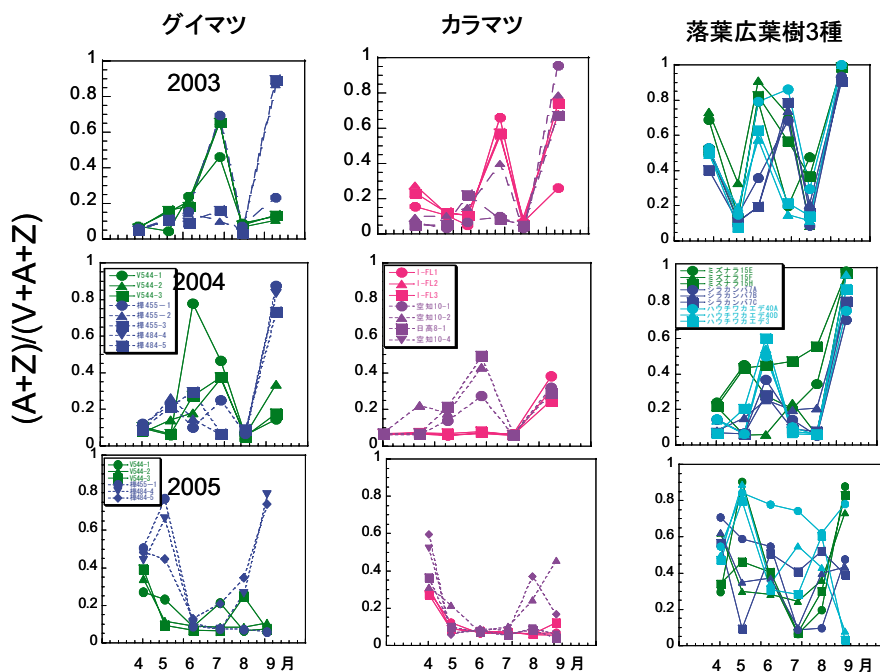


図 3.1-2 様々な北方林落葉樹におけるキサントフィル・サイクルの脱エポキシ化率 $(A+Z)/(V+A+Z)$ の季節変化。2003年、2004年、2005年の結果を示す。それぞれの樹種で異なるシンボルは異なるクローン個体を表す。

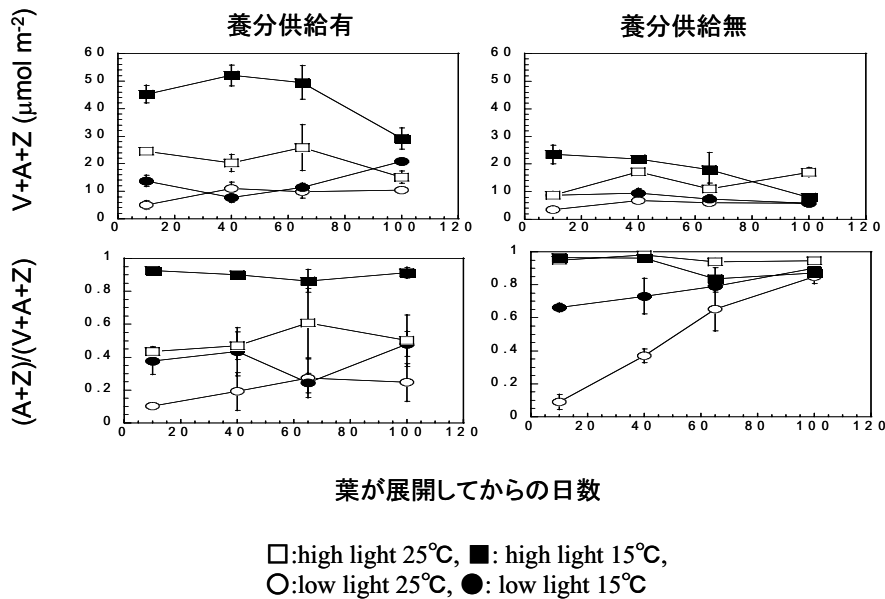


図 3.1-3 落葉広葉樹ミズナラの老化過程におけるキサントフィル・サイクルのプールサイズ $V+A+Z$ および脱エポキシ化率 $(A+Z)/(V+A+Z)$ の変化。人工気象室における実験で、養分供給有と養分供給無の結果を示す。

二つの光強度(強光 $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、弱光 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)、二つの生育温度(25°C 、 15°C)、栄養供給の有無という条件を組み合わせ、落葉樹ミズナラの実生を生育させ、葉の老化過程を調べた(図 3.1-3)。栄養供給がある場合においても、強光かつ 15°C では、葉の展開終了後の早い時期から、低い F_v/F_m や、キサントフィルサイクルの大きなプールサイズや高い脱エポキシ化の割合というような、光ストレス防御応答が見られた。また、栄養供給がない場合には、個体内で葉から根へ窒素が分配される傾向にあった。弱光かつ 25°C という光ストレスが少ないと考えられる条件においても、葉の展開終了後の早い時期には見られなかった光ストレス防御応答が、葉の老化の進行に伴って現れるようになった。強光かつ低温という生育条件は、光ストレス防御応答を引き起こすが、樹木が利用できる栄養が少ない条件下では、強光かつ低温でなくても、葉の老化が進むにつれて光ストレスを受けやすくなっていることが示された。また、季節変化がなく光強度と温度が一定条件の人工気象室内においても、落葉樹ミズナラの葉の老化過程において、光ストレス防御応答がみられることが示された。

常緑針葉樹のトドマツとアカエゾマツに関しては、冬季にキサントフィルサイクルのプールサイズや脱エポキシ化の割合が高くなったが(図 3.1-4)、膜結合型アスコルビン酸ペルオキシダーゼ(tAPX)活性は5月の新葉を除き年間を通じてほぼ一定であった(図 3.1-5)。したがって、常緑針葉樹のトドマツとアカエゾマツでは、キサントフィルサイクルにより冬季の光ストレスの程度を低く抑えていることが示唆された。また、クロロフィル合成の中間代謝物である Mg-proto IX と Mg-proto IX ME は、新葉が展開する前の4月に増加し、冬季にはそれらの蓄積は低く抑えられていることが判明した(図 3.1-6、3.1-7)。これらのクロロフィル合成中間代謝物は光を吸収すると $^1\text{O}_2$ などの活性酸素を発生する。したがって、冬季、これらの蓄積量が低く抑えられていることで光ストレスは回避されるが、春先、新葉が展開する頃にクロロフィルの合成が活発になる一方、光ストレスにさらされる危険性も高まることが示された(「光ストレスと幼木の生存・枯死」の項目参照)。このことは、特に5月の新葉で tAPX 活性が高かったことから示される。

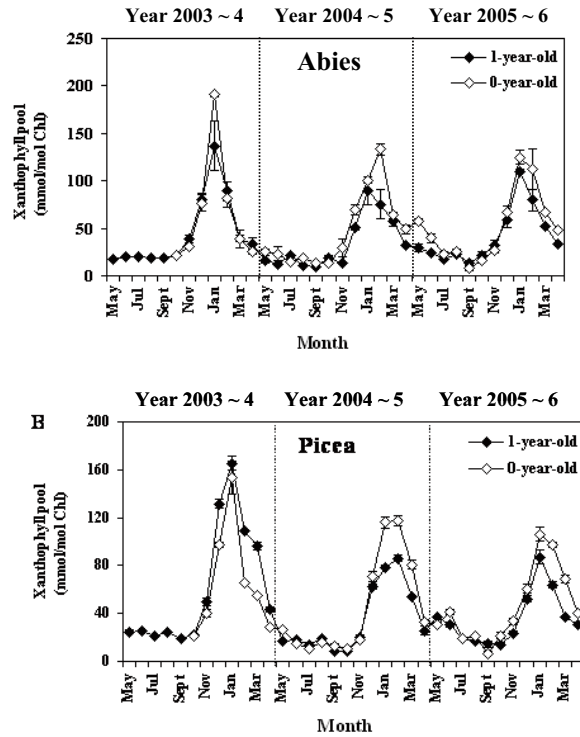


図 3.1-4 常緑針葉樹のトマツ(上)とアカエゾマツ(下)におけるキサントフィル・サイクルのプールサイズの季節変化。2003年5月から2006年4月まで、一月ごとの新葉(0-year-old)および1年葉(1-year-old)の結果を示す。

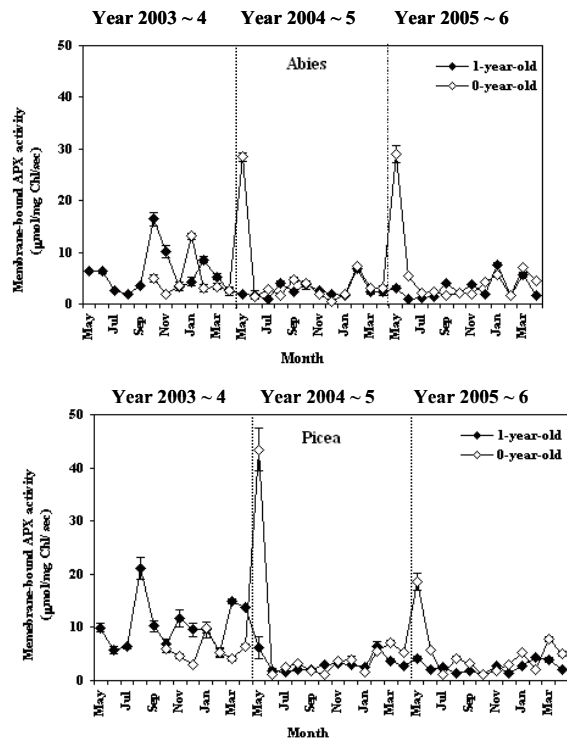


図 3.1-5 常緑針葉樹のトマツ(上)とアカエゾマツ(下)における膜結合型アスコルビン酸ペルオキシダーゼ(tAPX)活性の季節変化。2003年5月から2006年4月まで、一月ごとの新葉(0-year-old)および1年葉(1-year-old)の結果を示す。

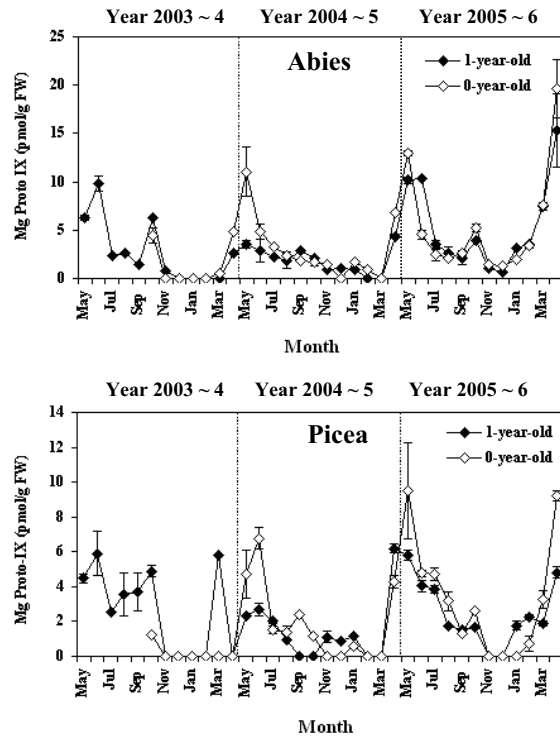


図 3.1-6 常緑針葉樹のトドマツ(上)とアカエゾマツ(下)における Mg-proto IX の蓄積量の季節変化。2003 年 5 月から 2006 年 4 月まで、一月ごとの新葉(0-year-old)および1年葉(1-year-old)の結果を示す。

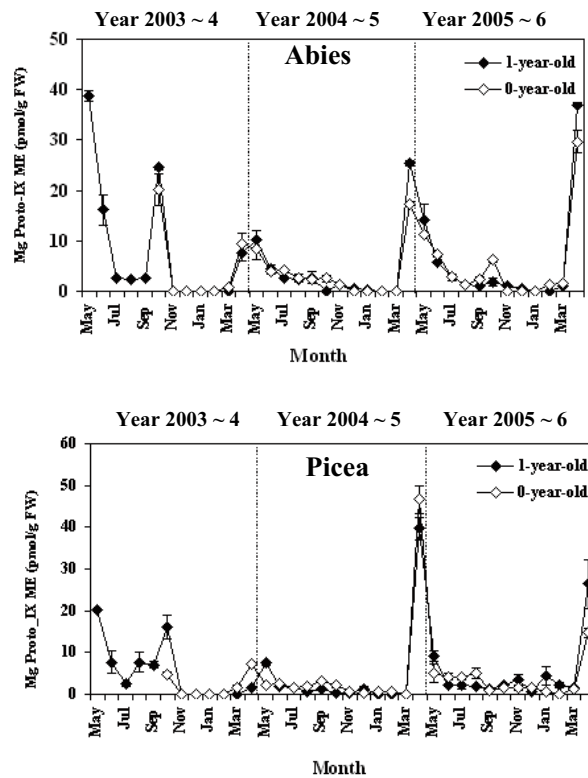


図 3.1-7 常緑針葉樹のトドマツ(上)とアカエゾマツ(下)における Mg-proto IX ME の蓄積量の季節変化。2003 年 5 月から 2006 年 4 月まで、一月ごとの新葉(0-year-old)および1年葉(1-year-old)の結果を示す。

常緑樹の冬季における光ストレス防御応答

常緑樹の冬季光ストレス回避の分子メカニズム解析は、イチイ針葉で発現する遺伝子発現解析を中心に行った。人為的に強光処理 ($700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) を低温 (4°C) で施した 2003 年 4 月のイチイ針葉から抽出した RNA を用いて、cDNA ライブラリーを構築し、1189 の部分塩基配列を EST としてシーケンスを行ったところ、多くの光ストレス防御に関与する EST が同定された。一方、冬季光ストレスに馴化した 2003 年 12 月のイチイ針葉を用いて cDNA ライブラリーを構築し、432 の EST をシーケンスしたところ、多くの光ストレス防御に関与する EST が同定されたが、そのプロファイルは、人為的な強光・低温を行った針葉で得られた EST とは異なっていた。とくに冬季のイチイ針葉では、early light-induced proteins (ELIP) をコードする EST が極めて多く検出された。このことから、イチイ針葉の光ストレス耐性獲得にともなう遺伝子発現は季節により異なる可能性が示唆された。

2003 年 12 月の EST 解析の実験結果を確認する目的で、2004 年 7 月、8 月、12 月のイチイ針葉に於ける EST のシーケンス、及びその解析を行った (図 3.1-8)。2004 年 12 月に採取した針葉では、2003 年 12 月に採取した EST よりもさらに多くの ELIP をコードする EST (約 30%) が検出された。これは、サンプリングを行った 2004 年 12 月 30 日の気温が低かったこと (-2.8°C) とともに、晴天 ($740 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) であったことによると思われる。一方で、2004 年 7 月、8 月に採取したイチイ針葉の EST では、ELIP をコードする EST は同定されなかった。冬季のイチイ EST 中には、3 つの ELIP 遺伝子が見いだされた。そのうち、1 つの遺伝子 (ELIP3) のみで、冬季に同定された ELIP をコードする EST の 95% 以上を占めた。また定量的 PCR により、3 つの ELIP 遺伝子がともに冬季特異的に発現することを確認した。

次に、ELIP のタンパク質レベルに於ける季節変化を明らかにするため、大腸菌発現系を用いて作製した組換え ELIP タンパク質をウサギに免疫化し、抗 ELIP 抗体を作製した。イチイ針葉から

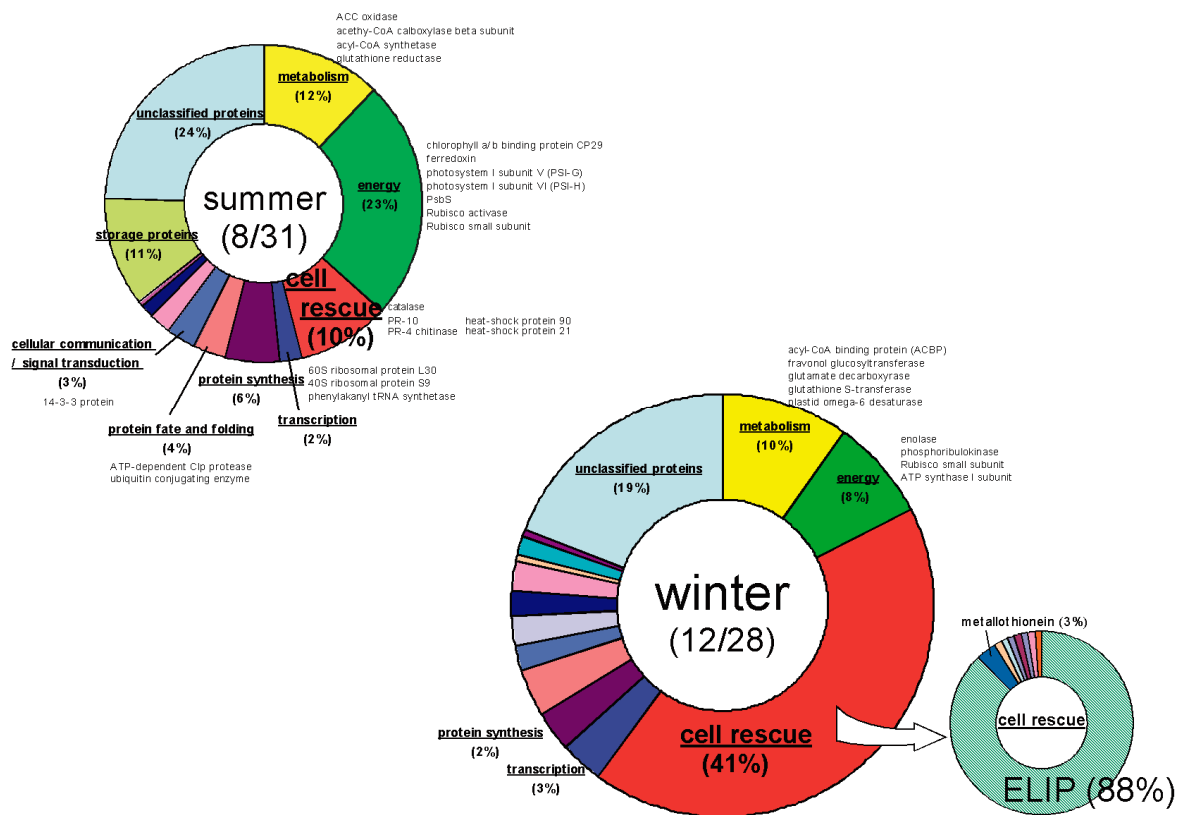


図 3.1-8 夏(2004年8月)と冬(2004年12月)の常緑針葉樹イチイの針葉から同定した EST の機能分類。

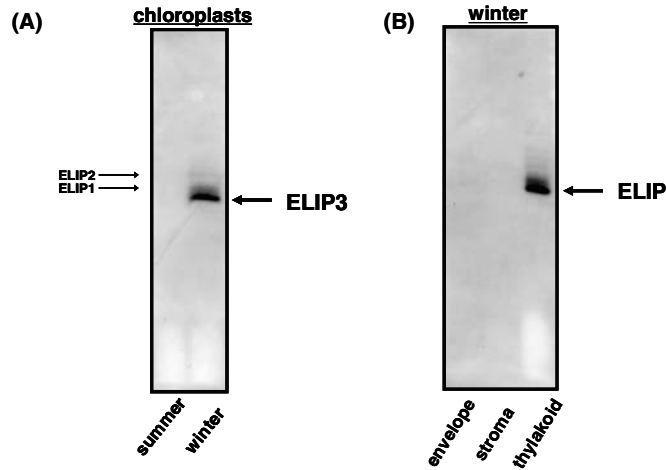


図3.1-9 冬季におけるELIPの蓄積は、タンパク質レベルでも見られる。(A)常緑針葉樹イチイの針葉から単離したクロロプラスト画分における ELIP 蓄積量の夏と冬の比較、(B)冬のイチイ針葉から単離したクロロプラストにおける ELIP の局在。

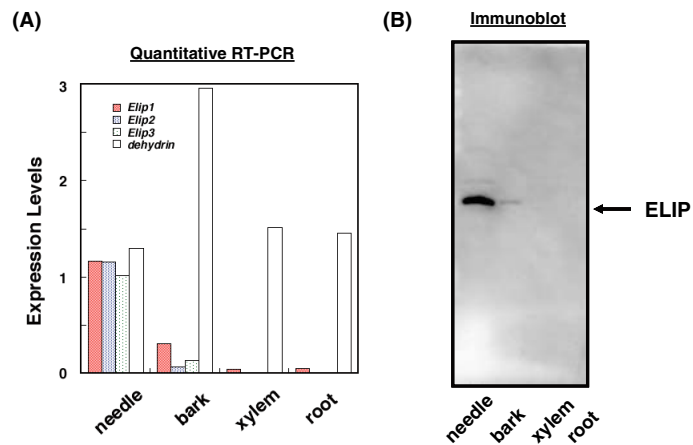


図3.1-10 ELIPの遺伝子発現とタンパク質蓄積は、葉緑体を保持しない組織では見られない。(A)針葉、樹皮、木部及び根における ELIP1、ELIP2、ELIP3、dehydrin 遺伝子の発現量、(B)針葉、樹皮、木部及び根における ELIP タンパク質の蓄積量。

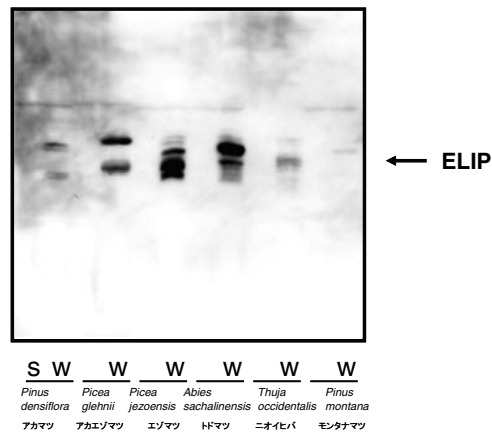


図3.1-11 冬季におけるELIPの蓄積は、様々な常緑針葉樹種でも見られる。

単離した葉緑体画分を用いてウエスタンブロットを行い、ELIP タンパク質は、冬に採取したチラコイド膜画分では検出されたが、夏のチラコイド膜画分では検出されなかった(図 3.1-9)。また葉緑体を保持しない木部や根では、ELIP タンパク質の蓄積は見いだされなかった(図 3.1-10)。このことから、ELIP の遺伝子発現とタンパク質の蓄積は葉緑体を保持する組織のみで誘導されることが示唆された。さらに ELIP タンパク質の冬季特異的な蓄積は、アカエゾマツやトドマツなど6種の常緑針葉樹でも見いだされた(図 3.1-11)。イチイ針葉でも、冬にゼアキサンチン及びアンテラザンチンの蓄積を伴う脱エポキシ化率の増加が HPLC を用いた色素分析によりが確認されたことから、ELIP はゼアキサンチン結合タンパク質として吸収した光エネルギーを熱として放出する非光化学的消光(NPQ)を通じて、冬の光ストレスを回避すると推測された。

イチイ針葉の一部を 11 月上旬に被陰し、冬季の光ストレスを受けない針葉を作成したところ、被陰した針葉では光化学系 II の最大量子収率(F_v/F_m)の低下、脱エポキシ化率の増加、及びゼアキサンチン含量の増加といった変化は見られなかった。また被陰した針葉では、ELIP の遺伝子発現とタンパク質蓄積も見いだされなかった(図 3.1-12)。これらのことから、冬季の ELIP の遺伝子発現とタンパク質蓄積は、イチイ針葉が光ストレスを受けることによりはじめて誘導されることが示された。

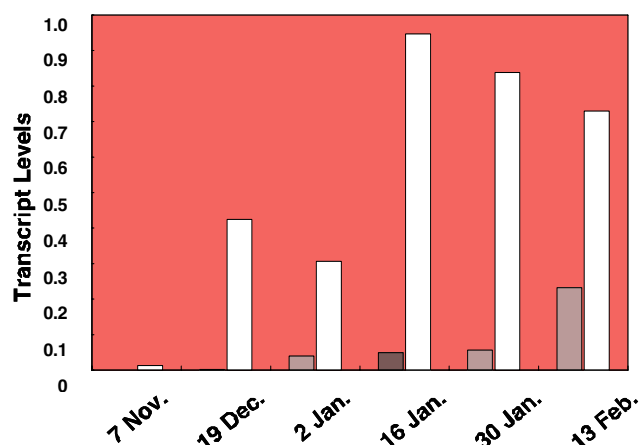


図 3. 1-12 人為的に被陰した常緑針葉樹イチイの針葉(灰色のバー)では、冬季の ELIP 遺伝子発現が抑制される。白色のバーは、被陰しない自然状態での針葉の結果である。

(2) 研究成果の今後期待される効果

以上、北方林における天然の森林再生過程とその維持のメカニズムを繁殖戦略、生存戦略、生物多様性に関して明らかにし、これらの成果を用いて「北方林の持続可能な管理と保全」のためのモデルを考案した。

① 北方林の持続可能な管理

繁殖戦略の成果を応用して北方林の生り年を正確にかつ簡便に予測するためのパラメータを選定した。現在のところ、単一のパラメータとしてはリノレン酸量が最も有力な候補であるが、予測の精度を上げるためには tAPX 活性、クロロフィル量、グルタチオン量なども同時に考慮しなければならないであろう。我々は 7 種類の北方林樹木を用いて調査を行っているが、樹種によって生り年に関与するパラメータや時期が異なるかもしれない。以上のような検討を今後は行いたい。このようにして生り年が予測できたら、生り年の年に生存戦略の成果を応用して択伐を行う。生り年で大量の種子が供給されるので、伐採後は自然に幼木が再生してゆく。このような、森林を大規模に破壊することなく自然の流れに沿ったかたちで森林を利用する「持続可能な管理」モデルを今後は実際の林業に応用したい。

② 生り年メカニズムの林業への応用とその将来展望

北海道の主要造林樹種であるトドマツ、アカエゾマツ、カラマツ、グイマツは種子の豊凶の差が大きく、ほとんど着果が見られない年もあるため、造林用種子の採種量の年変動は大きい。しかし、生り年のメカニズムについてはこれまではほとんど調べられておらず、現在のところ人為的に着果を促進する方法が確立されていないため、毎年、安定的に種子を確保することが難しい状況となっている。特に、カラマツとグイマツの雑種であるグイマツ雑種 F1 については種苗の需要量に対して供給量が恒常的に不足しており、種子の安定供給が大きな問題となっている。

本研究で明らかにされた生り年メカニズムを応用することで、着花するかどうか、そして着果量を前年のうちに予測することができると期待される。前もって予測することができれば年度を超えて採種量と播種量を調整することが可能となり、苗木の安定供給に寄与する。グイマツでは気象条件と結実量の関係から、前年の 5 月、6 月の気象条件で花芽の分化が促進され、結実量が決定されることが示唆されている。本研究でグイマツにおける 5~6 月のリノレン酸含有量とその翌年の着花数の関係が示唆されたことは、気象条件と結実量から示唆された結果を生理学的に裏付けるものであり、5~6 月に翌年の着花数を予測できる可能性があることを示している。

また、本研究の分子生物学的解析により花成関連遺伝子群が同定され、これが低温により発現量が増加することが確認された。このことは、低温により着花が誘導される可能性を示唆している。着花する条件が解明されると着花が促進される刺激を人為的に与えることが可能となり、着花促進技術を開発することができる(本研究における 5 月下旬のグイマツのパラコート処理)。これは、単に造林用種子の採取量を増加させるだけではなく、人工交配を行う機会も増加させ、新品種の開発期間を短縮させるとともに、優良な種子の安定供給に寄与する。これまでは、開花する成木に生長するまで待つ必要があったため優良品種の種子を得るのに長時間を要したが、我々の方法を用いれば、その時間を大幅に短縮することが可能となる。

③ 北方林の保全

これまでの我々の研究成果から、北方林の繁殖戦略、生存戦略、生物多様性と寒冷圏の光ストレスとの関係をまとめたものが図 3.1-13 である。光ストレスは、繁殖戦略にはプラスに、生存戦略にはマイナスに、そして生物多様性にはプラスに作用することが明らかになった。このように、北方林生態系は光ストレスと繁殖戦略、生存戦略、生物多様性の関係の微妙なバランスの下に成立していることが理解できる。近年における地球規模の気候変化からこれらの関係のバランスが崩れると、

北方林生態系の回復は非常に困難なものになると予想される。この予想を定量的に示すため、つまりどの程度バランスが崩れると北方林生態系が回復困難となるのかを予測するため、我々が別途開発している大気-植生相互作用モデル MINoSGI を用いた理論的研究を現在続けている。この予測は、北方林を適切に保全するための施策立案の基盤となることが期待される。

また、「北方林樹木の落葉と常緑: 生物多様性」の研究成果も応用すれば、気候変化が北方林の葉量の変化に及ぼす影響が評価できる。その結果、気候変化が北方林の NPP (Net Primary Productivity、森林全体の葉の光合成による正味の CO₂ 吸収量) にどのような影響を及ぼすのが評価できるので、ポスト京都議定書に向けた貢献が期待される。例えば、地域別の二酸化炭素排出量削減パーセントの数値目標の設定などが考えられる。

北方林は気候との微妙なバランスのもとに成立している



図 3.1-13 北方林は気候との微妙なバランスのもとに成立している。光ストレスを生む気候と繁殖戦略、生存戦略、生物多様性間の影響の+-のバランスが保たれ、持続する北方林生態系が成立している。そのためには気象の季節変化に対応した遺伝子発現の季節変化が必要である。

3. 2「光ストレスによる北方林樹木のライフサイクル制御」の生理・生化学的解析 (北海道大学低温科学研究所 生理・生化学的解析グループ(田中 歩))

(1) 研究実施内容及び成果

生理・生化学的解析グループは、光ストレスがどのようにして北方林のライフサイクルを制御しているかを生理生化学的に解析することを目的とした。特に、①常緑針葉樹が冬季の凍結温度下でどのようにして光合成装置を保護しているのかを野外の常緑針葉樹で明らかにし、さらに②光ストレスがどのようにライフサイクルに影響を与えるかをまず草本植物を用いて解析を行い、最終的に野外の北方林樹木に応用することを目的とした。この2つの成果について以下にまとめる。

① 常緑針葉樹葉緑体の冬季低温下での維持機構

北方寒冷圏には、冬季の厳しい低温下でも緑葉を保持している樹木が多い。低温下では、光化学系によって光エネルギーが捕捉されるにも関わらず、多くの酵素反応を必要とする CO_2 の固定は止まっている。常識的にはこのようなアンバランスは光傷害を引き起こし、植物は直ちに枯死すると考えられる。しかし実際には、北方寒冷圏の樹木では、冬季も光傷害を受けることなく、光化学系が保たれている。冬季も光化学系が保持されることは、比較的生産性の低い北方林の成立機構を理解するためには、避けて通れない解明すべき課題である。本研究では、北方林の成立過程を知るため、冬季低温下での光傷害回避機構と温度変化に対する光合成の適応機構の解析に取り組んだ。

冬季凍結温度下での緑葉の維持機構の最も中心を担う機構は、光エネルギーの散逸である。すなわち、どのようにして吸収した光を熱として散逸するかである。この機構なしには、寒冷圏では常緑樹は生存できない。光エネルギーの散逸機構は、シロイヌナズナなどのモデル植物を用いて、生理学的・分子遺伝学的に解析され、かなり詳細に解明されてきた。しかし、この機構は、常温下でのエネルギー散逸であり、凍結温度下では、これとは異なった機構が働いている可能性がある。この機構を調べるため、我々は、本プロジェクトのモデル植物の一つである常緑針葉樹のイチイを材料に選んだ(図 3.2-1)。

解析には、光合成の様々な活性を調べると同時に、色素間のエネルギー移動を詳細に解析することができる時間分解スペクトルを用いた。冬季の光合成の解析に時間分解スペクトルを応用したのは初めての試みである。



図 3.2-1 夏(左)と冬(右)の常緑針葉樹イチイ。

冬季葉緑体の形態変化と光合成活性

イチイの葉緑体を電子顕微鏡で観察した(図 3.2-2)。夏季のイチイの細胞では、葉緑体は細胞膜近傍に存在し、葉緑体は互いに端で接触しているだけである。これは、 CO_2 を効率的に取り込

むためと思われる。また、グラナ構造もよく発達している。このように、イチイの夏季の葉緑体は、他の草本で見られる葉緑体と、構造と細胞内の位置が同じであった。ところが冬季の細胞では、葉緑体は細胞の中心に集まっている。また、興味深いことに、冬季の葉緑体の胞膜は膨らみ、近傍の胞膜と接している。その結果、ストロマの容積が増加し、葉緑体が密に集合している。このように、冬季の葉緑体はその形態や細胞内での位置が夏季と大きく異なっている。

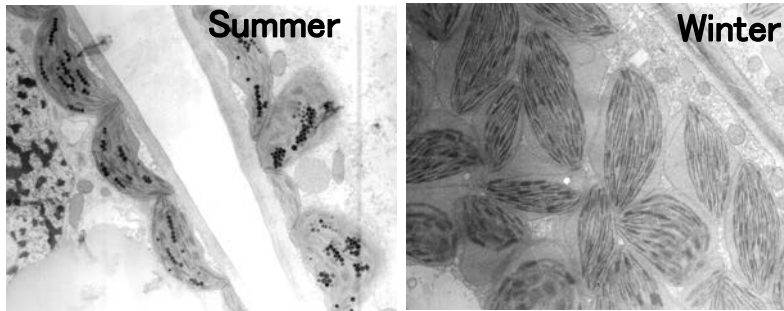


図 3.2-2 電子顕微鏡による葉緑体の構造。夏季の葉緑体はよく発達したグラナ構造を示し、細胞膜と液胞膜に接しているが、冬季の葉緑体は細胞の中央に集合し、さらに包膜が膨らみ、隣の葉緑体の包膜と接しており、特異な形態をしている。

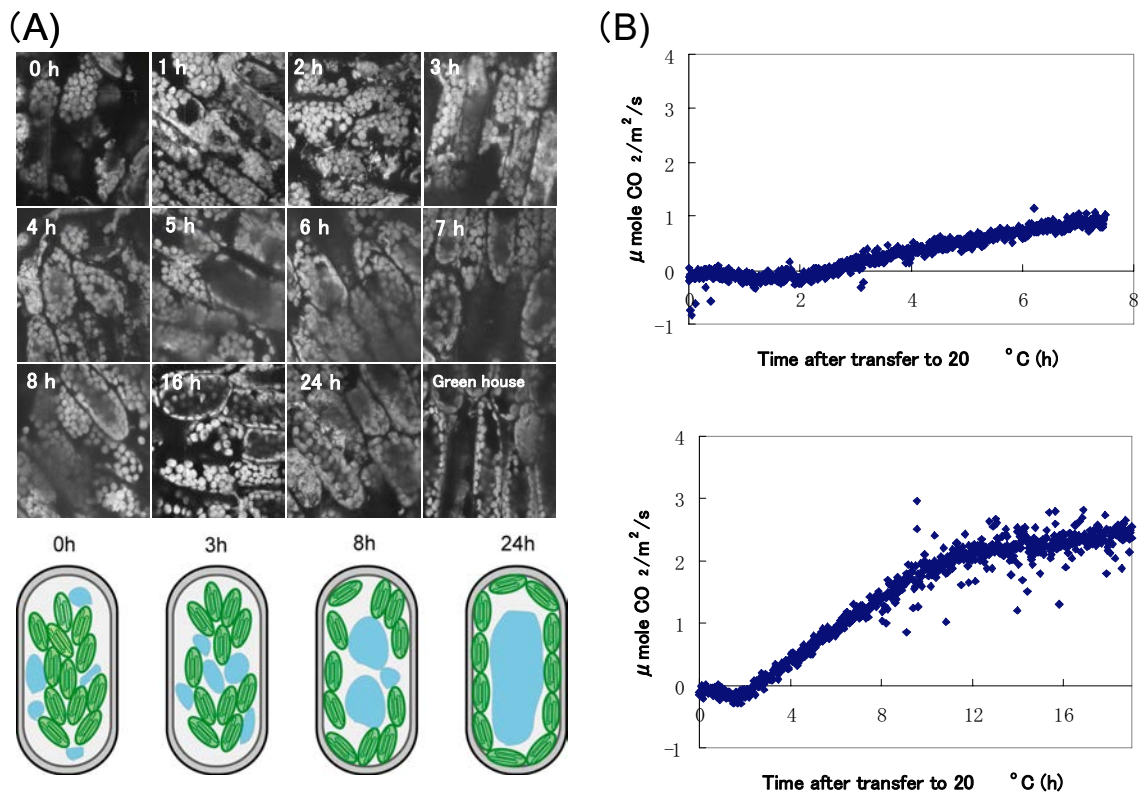


図 3.2-3 葉緑体の構造変化と光合成活性。冬季、常緑針葉樹イチイを室温馴化させた時の葉緑体の細胞内位置 (A) と二酸化炭素固定活性 (B)。冬季、イチイの葉を室温馴化させると、約2時間後から葉緑体の集合体が崩れていき、1日経つと殆どの葉緑体は、夏季に見られるように、細胞の周辺に位置する。集合体を形成している葉緑体では光合成活性は殆ど無く、集合体がなくなるにしたがって出現する。このように光合成活性は、葉緑体の位置と密接な関係を示している。

冬季のイチイの枝を切除し、室温(20°C)で処理すると、細胞内での葉緑体の移動が見られた(図 3.2-3A)。細胞の中央で集合していた葉緑体は次第に離れ、細胞周辺へ移動していく。室温処理8時間後では、多くの葉緑体が細胞の周辺まで移動し、24時間後では、この移動はほぼ完了した。このように、葉緑体は温度によって細胞内の位置が調節されているようである。

図 3.2-3B は、この時の光合成活性(CO₂の取り込み)を示したものである。冬季、野外からサンプリングした直後のイチイは、室温に置いてもしばらくは光合成活性を示さなかった。約2時間の誘導期の後、光合成活性は次第に上昇し、12 時間後には最大光合成活性に到達した。このことは、冬季には温度が上昇しても直ちに光合成を行わないよう、何らかの仕組みが働いていることを示している。光合成活性は細胞内の葉緑体の位置とよく一致していた。葉緑体が中央に存在している間は、光合成が行われず、葉緑体が細胞の周辺に移動するにしたがって光合成活性が上昇した。

冬季の葉緑体には光合成を行わない仕組みが必要である。葉緑体が細胞の中央で集合した場合、葉緑体胞膜を介した CO₂ や無機リン酸の取り込みや、光合成で作られた有機酸や糖類の輸送が阻害されると思われる。このような仕組みで、冬季の光合成が休眠状態になっていると考えられる。

冬季光合成の電子伝達

冬季葉緑体の電子伝達を夏の葉緑体と比較した(表 3.2-1)。蛍光測定装置 PAM を用いて、光化学系 II の電子伝達成分である Q_A の酸化還元速度を調べた。Q_A の還元速度は温度によって大きな影響を受けなかったが、Q_A の再酸化速度は温度によって大きな影響を受け、低温下では、再酸化が極端に阻害された。このことは、低温下の光化学系 II では、Q_A までは電子が流れるが、その後は電子が移動しないことを示している。実際、様々な照度と温度下で Q_A の状態を調べたところ、低温下では Q_A は低照度条件でも、ほぼ全て還元状態にあった(図 3.2-4)。この場合の問題点は、Q_A が還元状態にあるにもかかわらず、光エネルギーが反応中心まで到達することである。我々は、反応中心まで伝達されたエネルギーは Phe⁻と P680⁺との電荷再結合によって散逸されたと考えている。

測定温度	蛍光誘導 (還元速度)			蛍光減衰 (酸化速度)		
	Fluorescence levels			Fluorescence levels		
	1/4	2/4	3/4	3/4	2/4	1/4
-15°C	0.013	0.044	0.119	4.7	18.7	
-10°C	0.014	0.038	0.103	2.2	5.5	12.2
-5°C	0.014	0.035	0.087	0.3	0.6	4.4
0°C	0.009	0.041	0.088	0.3	0.6	4.4
5°C	0.014	0.032	0.076	0.2	0.5	0.7
10°C	0.009	0.027	0.076	0.2	0.3	0.4

表 3.2-1 Q_A の酸化還元速度の温度依存性。Q_A の酸化還元速度を蛍光によって測定した。Q_A の還元速度は温度には大きく影響を受けなかったが、酸化速度は温度依存性を示した。低温下では酸化速度は還元速度に比べ 100 倍程度遅かった。このことは、低温下では Q_A までの電子の流れは Q_A から Q_B への電子の流れに比べ高いことを示す。

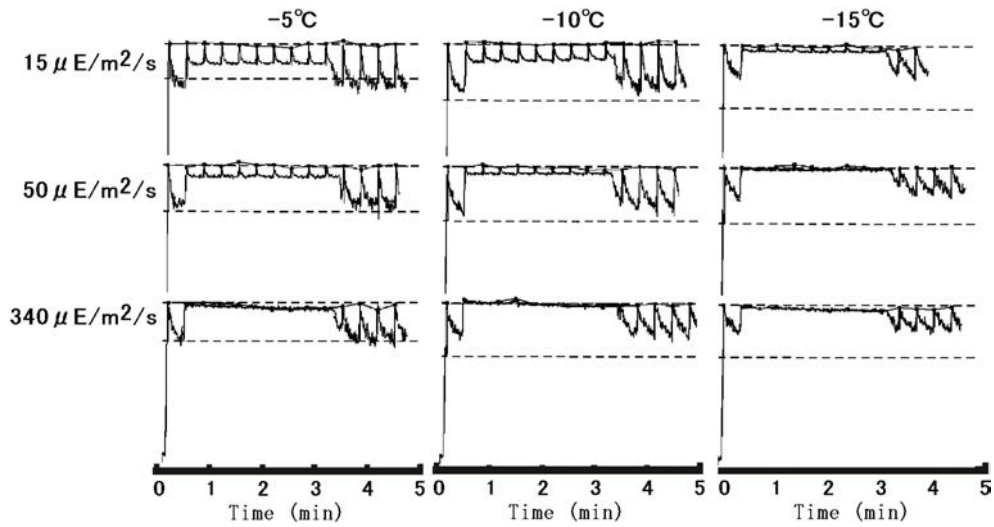


図 3.2-4 Q_A の酸化還元状態の温度依存性。様々な光強度と温度下での Q_A の酸化還元状態を蛍光を用いて測定した。低温では、弱光化でも殆どの Q_A は還元状態にあることが明らかになった。この結果は、 Q_A の酸化還元速度の結果とよく一致する。このことは、冬季では野外の常緑針葉樹イチイの Q_A は常に還元状態にあることを示唆する。

冬季の光合成の集光装置によるエネルギー移動とエネルギー散逸

冬季のエネルギー移動と散逸を調べるため、ピコ秒時間分解蛍光スペクトルを測定した(図 3.2-5)。その結果、冬季は光化学系 II の蛍光が早く減衰することがわかった。また、遅い蛍光成分を解析した結果、冬季には反応中心まで伝達するエネルギーは、夏季のおよそ 1/10 であった(図 3.2-6)。このことから、光合成色素によって捕捉された多くの光エネルギーは、冬季には反応中心まで届かず、途中で熱に転換されていることが明らかになった。これらの解析を、冬季イチイの遺伝子発現の解析を行った生態学的解析グループの成果も取り入れて全体をまとめると図 3.2-7 のようになる。

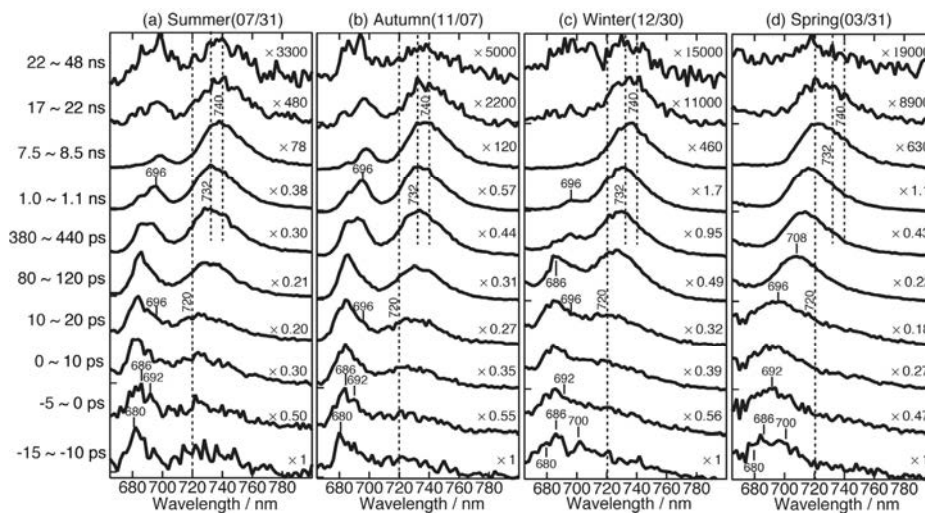


図 3.2-5 時間相関単一光子計数法によるピコ秒時間分解蛍光スペクトル(TRFS)。冬は光化学系 II の蛍光が早く減衰する。100ps 以下の時間領域で 705-715nm に特異なピークが見られる。春も光化学系 II の蛍光は早く減衰する。

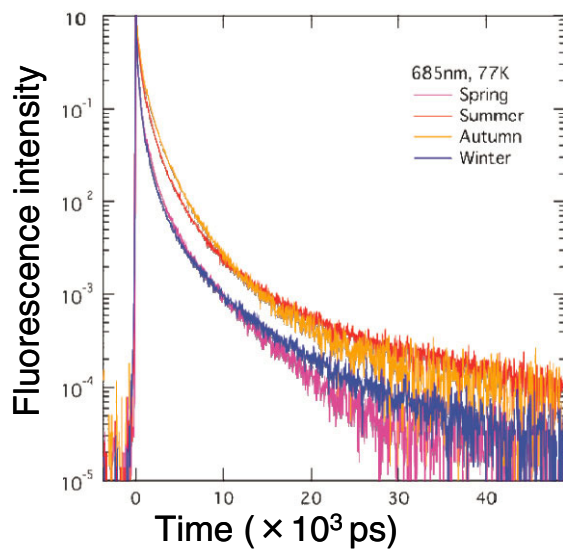


図 3.2-6 長寿命蛍光の解析。数 10ns の寿命の遅延蛍光は光化学系 II 反応中心の P680⁺と Pheophytin a との間の電荷再結合を反映する。この図は冬と春では光化学系 II 反応中心にエネルギーが到達しにくいことを示している。

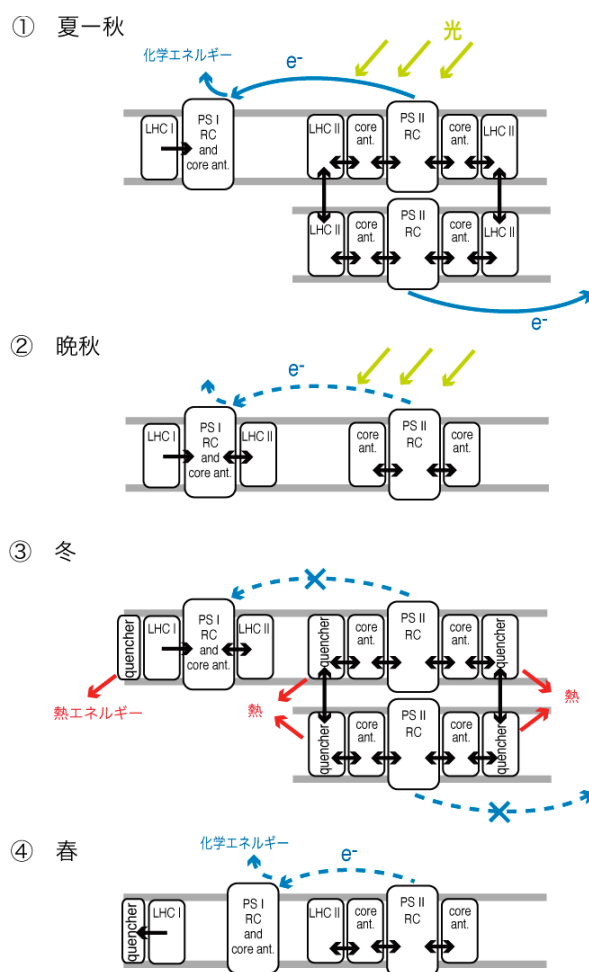


図 3.2-7 エネルギー移動と散逸の季節変化。青い矢印は電子移動、赤い矢印は熱エネルギーへの転換、黒い矢印は色素間のエネルギー移動を示している。

夏季や秋季においては、光化学系 I, II 共にそれぞれの集光装置 (LHCI, LHCII) が効率の良い励起エネルギー移動を行っている。おそらく、グラナスタックの部分では膜に垂直な方向でも励起エネルギー移動が起こり、光化学系 II 反応中心へのエネルギー移動効率を高めている。冬にむかうと LHCII が減少し始め、これにより反応中心への励起エネルギーの流入が減少する。気温が低下するに従い、ELIP などの quencher が大量に蓄積し、光化学系 II と I の両方と会合する。この quencher は励起エネルギーを受け取り、速やかに熱振動として緩和するため、光化学系 II 反応中心に到達する励起エネルギーを減少させる。春になると、気温が上がり、再び光合成が可能になる。反応中心から quencher が外れ、グラナスタックが減少する。また反応中心に到達する励起エネルギーが増加する。LHCII の蓄積量は夏にかけて徐々に増加し、それに伴いグラナスタックも復活する。

本研究で明らかになった冬季の低温下でのエネルギー散逸機構

冬季の光合成は様々な方法で光化学系を光傷害から防御している (図 3.2-8)。冬季には、まず、葉緑体が集合し光合成活性を抑制し、休眠状態にしている。この葉緑体の集合は、捕捉する光の量を減らす役割も担っている。光化学系に捕捉された光エネルギーは、集光装置の中で、多くは熱エネルギーに変換される。この熱エネルギー変換機構によって、反応中心まで届くエネルギーを 1/10 程度まで減少させている。さらに、反応中心まで届いたエネルギーは P680 を励起し、Phe に電子を渡すが、この電子が再び P680 に戻ることによって、エネルギーを消費している。すなわち、P680 と Phe 間でエネルギーを消費しながら、電子を空回りさせている。このように、様々な機構によって、2 重 3 重に光エネルギーを散逸する機構が発達し、冬季凍結温度下でも、光合成装置を守っていることが明らかになった。

一方、常緑樹は、年間を通して緑であるが、落葉樹のように、春に光合成の再構築が行われていることが示唆された。この構築は大変重要であるが、植物にとって光傷害を受けやすい危険な時期でもある。実際、春に枯死する針葉が多く見られた。一見、年変化がないように思われる常緑樹でも、陰では落葉樹のようなライフサイクルを行っているのである。これは、大変面白い結果であり、寒冷圏の樹木の維持機構を考えるにあたって、重要な視点と思われる。

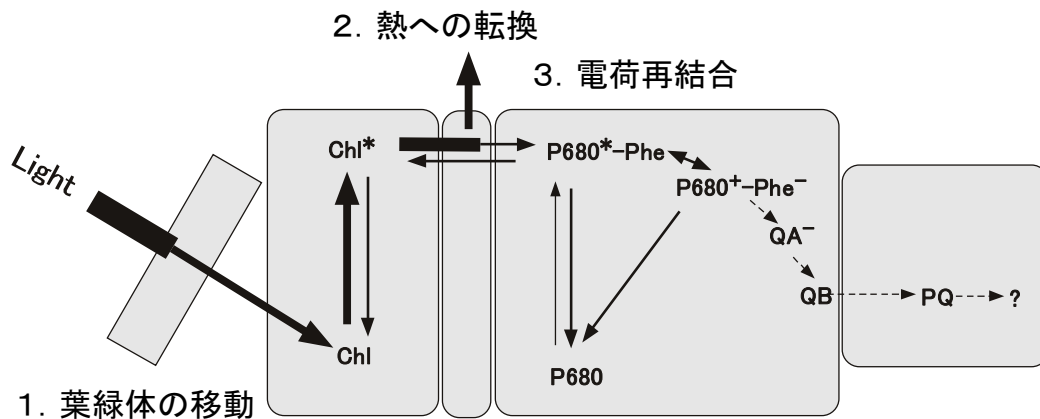


図 3.2-8 冬季における常緑針葉樹イチイの光傷害回避機構。冬季のイチイは、1. 葉緑体が細胞の中心に集まり受け取る光を少なくする、2. 吸収した光を熱へ転換する、3. 電荷再結合により電子を空回りさせるなどの機構で、過剰な光エネルギーを消去していると考えられる。

② 光ストレスはどのようにライフサイクルに影響を与えるか

植物はその生活環境において様々な光ストレスを受けている。特に、光化学系が構築される成長時期は光に大変弱いと考えられ、樹木はこれを避けるため、葉の成長期に色素を蓄積して傷害

を防御している。しかし、実際どのような傷害が引き起こされるかは不明である。この点を明らかにするため、まず、結果が短時間で得られる草本植物のキュウリの黄化子葉を用いて解析した。

高照度下では活性酸素が発生し緑化しない

キュウリの黄化葉を低照度下と高照度下におき、緑化の程度を観察した(図 3.2-9)。低照度下ではクロロフィルが合成され、子葉が次第に緑になっていったが、高照度下では全くクロロフィルは合成されなかった。しかし、ある程度緑化が進んだ子葉を高照度下に置くと、クロロフィルが増加した。このことは、葉の成長の初期には光傷害を起こしやすいことを示している。活性酸素の一種である H_2O_2 の発生を調べた結果(図 3.2-10)、高照度下で処理した黄化子葉のみ H_2O_2 が蓄積していることがわかった。このことは、成長の初期には発生した活性酸素を処理できないことを示している。

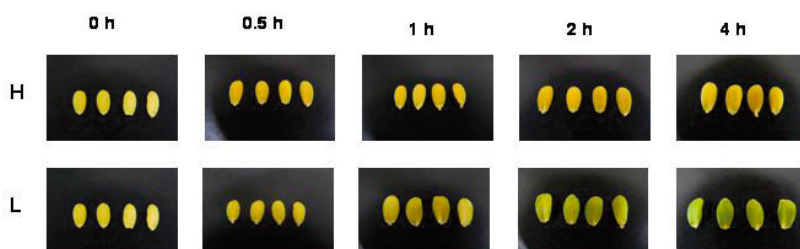


図 3.2-9 キュウリ黄化葉の緑化に対する光強度の影響。低照度下(L)では黄化葉はクロロフィルの合成を開始し、緑化するが、高照度下(H)ではクロロフィルを合成することができない。



図 3.2-10 光照射による H_2O_2 の蓄積。緑化葉(左)、もしくは黄化葉(右)を低照度(L)または高照度(H)で処理し、DAB 染色で H_2O_2 の蓄積を見た。黄化葉を高照度で処理した子葉のみ H_2O_2 の蓄積が観察された。

クロロフィル合成系が光傷害の標的である

高照度処理した場合にクロロフィルの蓄積が見られなかったことから、クロロフィル代謝系が光ストレスの標的として考えられる。そこで、子葉を一定時間高照度処理し、その後暗所に移し、クロロフィルの前駆体である 5-アミノレブリン酸(ALA)を与えた(図 3.2-11)。暗所では、クロロフィル代謝の最終産物は Pchlide である。緑化葉の場合、与えた ALA は全て最終産物の Pchlide に転換された。これは、代謝系が損傷を受けず、高い活性を維持していることを示している。ところが、黄化葉の場合、クロロフィル代謝の中間体である Proto IX が蓄積した。高照度処理の時間を長くすると、殆ど全ての ALA が Proto IX として蓄積した。このことは、クロロフィル代謝の特定の酵素が、高照度処理によって失活していることを示している。この酵素活性の低下は、酵素タンパク質の減少ではなく、活性が阻害された結果と思われる。

クロロフィル代謝に対する高照度処理の影響を詳細に調べたところ、クロロフィル代謝の様々な段階が阻害されていることが明らかになった。この阻害は、活性酸素を介していると思われる。この

阻害は、黄化葉が緑化する時のみ見られた。おそらく、この時期は、活性酸素消去系が十分働いていないためと思われる(図 3.2-12)。

常緑針葉樹のイチイでは、春に光化学系の再構築が行われ、しかもその時、光傷害を受けやすい。キュウリ子葉を用いた研究で明らかになったように、光化学系の構築時期は、光傷害を受けやすいのだろう。今後、常緑樹においても、この点をさらに解析することが必要である。

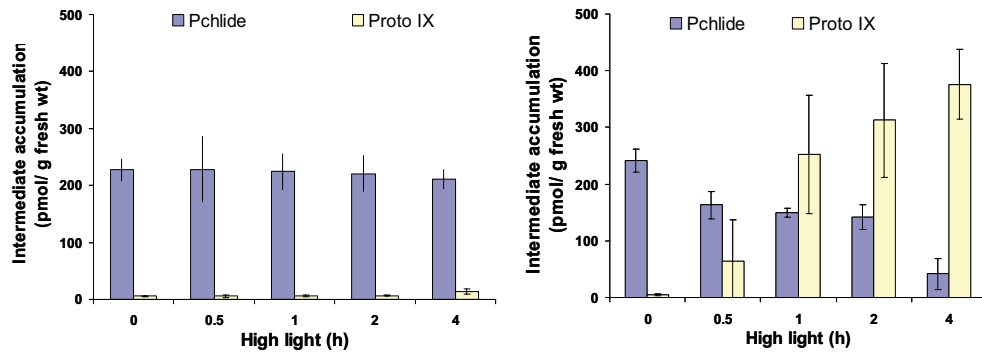


図 3.2-11 高照度処理のクロロフィル合成系に対する影響。高照度処理のクロロフィル合成経路に対する影響を見るため、処理した子葉に暗所でクロロフィルの前駆体である 5-アミノレブリン酸(ALA)を与えた。緑化葉では最終産物の Pchlide が蓄積したが、黄化葉ではクロロフィル代謝の中間体である Proto IX の蓄積が見られた。

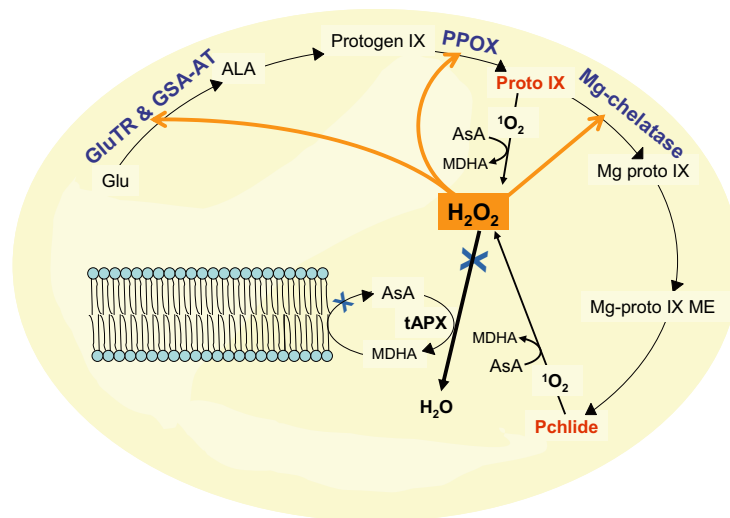


図 3.2-12 高照度処理によるクロロフィル合成系の阻害機構。黄化葉に強い光を与えると、活性酸素(H_2O_2)が発生する。 H_2O_2 はALA合成酵素など幾つかの段階でクロロフィル合成を失活させる。緑葉では、発生した活性酸素を消去するシステムが働くため、傷害が見られない。

(2) 研究成果の今後期待される効果

以上のメカニズムが解明されると、温暖化などの気候変動が樹木の展葉と落葉の時期、つまり年間を通じての森林の積算葉量(温暖化ガスである CO_2 を光合成により吸収する森林全体の能力に関係する)に及ぼす影響が解明できる。したがって、ここでの成果は、地球温暖化問題や環境保全への貢献が期待できるが、詳しくは全体をまとめて生態学的解析グループの項で述べる。

3. 3「光ストレスによる北方林樹木のライフサイクル制御」の分子生物学的解析 (岡山県生物科学総合研究所 分子生物学的解析グループ(小川 健一))

(1) 研究実施内容及び成果

数年に一度、森林の多くの樹木個体が大量に開花・結実する「生り年」は、多量の芽生えを供給するという意味で天然の森林再生・維持にとって最初の重要なプロセスである。光ストレスが北方林の「生り年」を促進すると我々は考えており、この生理・生化学的、分子的基盤を解析した。

① 活性酸素が関与する花成因子のシロイヌナズナでの同定

膜脂質のリノレン酸量と花成

光ストレスから開花が誘導される分子的メカニズムを詳細に解明し北方林樹木に応用するため、まず、樹木に比べ短時間で結果が得られるモデル植物シロイヌナズナを用いた分子生物学的解析を行った。活性酸素に対する応答に関しては、モデル植物シロイヌナズナを用いることで、活性酸素の定常レベルが高い変異体を同定し、その変異体が不飽和脂肪酸であるリノレン酸の合成欠損株であることを見出した(図 3.3-1)。1) 膜脂質であるリノレン酸の合成は低温で誘導され、再び気温が上昇するとその分解が促進されること、2) 低温下では花成が抑制され、低温から再び気温が上昇することで花成が促進されること、3) リノレン酸の分解派生物質には花成の誘導能力を有する KODA などのような生長調節物質が存在すること、4) 低温下では光ストレスが増強され、リノレン酸の光酸化が加速されることなどを考慮すると、膜脂質であるリノレン酸量は、花成に大きな影響を及ぼす因子であると想定されたため、リノレン酸の合成酵素 FAD3 遺伝子を過剰発現した形質転換植物およびリノレン酸の合成に異常をもつ変異体を利用することで、膜脂質のリノレン酸量と花成との関係を調査した(図 3.3-2)。リノレン酸の分解派生物質の場合とは異なり、膜脂質のリノレン酸量はシロイヌナズナの花成指標(開花時のロゼット葉数)と高い負の相関を示し、リノレン酸はシロイヌナズナにおける花成の抑制因子であることが明らかになった。



図 3.3-1 活性酸素のレベルが高い変異体と原因遺伝子の過剰発現体の花成。活性酸素の定常レベルの高い変異体をスクリーニングしたところ、リノレン酸の合成酵素であった。その酵素を過剰発現させた植物は遅咲きとなった(左)。得られた変異体は、リノレン酸量が増加するような低温条件下で野生型よりも早咲きとなった(右)。

膜脂質のリノレン酸量を増加させた形質転換シロイヌナズナの DNA マイクロアレイ解析を行ってリノレン酸量により制御される遺伝子群を同定したところ、シロイヌナズナの花成の抑制制御で中心的な役割を担う *FLC* (*Flowering Locus C*) 遺伝子が含まれていた。*FLC* は一定期間の低温によって花成が誘導される現象(春化)に強く関与することが知られるが、その場合、その転写物量が低温期間に減少することで花成の抑制が解除されるというメカニズムで花成は誘導・促進される。RT-PCR によってリノレン酸量の変異体における *FLC* の転写物量を調べたところ、*FLC* 転写物量の down-regulation がリノレン酸によって抑制されることが明らかになった。*FLC* を中心とする花成抑制メカニズムが普遍的に春化のメカニズムに関与することは十分仮定されるが、*FLC* のオルソ

ログは他の植物で見出されておらず、他の植物ではどのような因子が *FLC* の代わりを担うのか未だに明らかにされていない。そこで、遺伝学的に *FLC* の下流で働き、他の植物でもそのオルソログが見出され、低温刺激によってその発現が促進される花成統御遺伝子 *LFY(LEAFY)* に注目した。*LFY* の発現は、リノレン酸量が高くなるにつれて遅延し、花成もそれに応じて遅延した。一般的に、低温期間中にはリノレン酸量が高まることや花成が抑制されること、そして低温期間終了後にはリノレン酸が分解され、花成が誘導されることなどから考えると、リノレン酸自体は低温期間中の花成を抑制し、気温が上昇した後は、その分解物が花成を促進すると考えられた(図 3.3-3)。

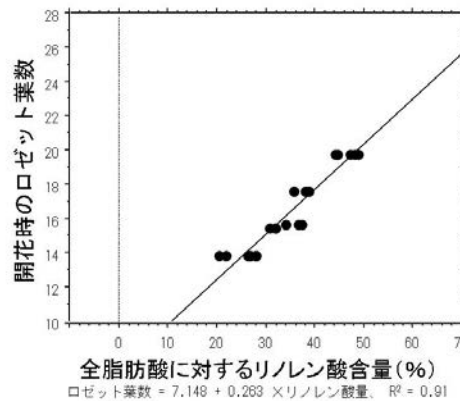
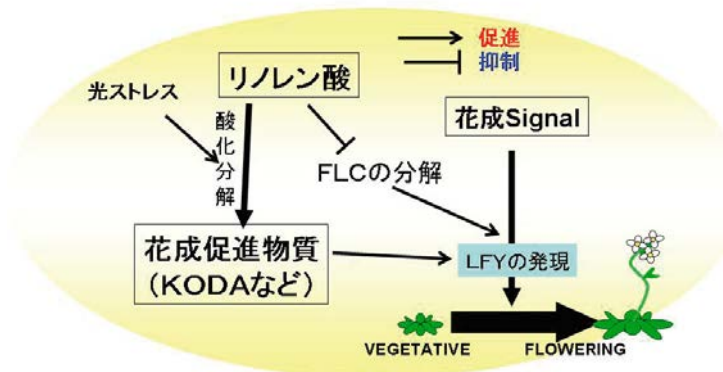


図 3.3-2 全脂質のリノレン酸量と花成との関係。様々な生育条件(温度、光環境、酸素濃度を変えた)で生育させたシロイヌナズナのロゼット葉のリノレン酸を測定し、花成の指標である開花時のロゼット葉数との関係をプロット。



3.3-3 リノレン酸による花成の制御。

グルタチオンによる花成制御

上記のようにシロイヌナズナ花成は、*FLC* の転写物量によって決定されることが知られているが、その down-regulation に関わる因子 *FCA* の変異体ではグルタチオン合成とその代謝に異常があるため花成の遅延が認められる。一方、グルタチオンは活性酸素消去系の因子であり、活性酸素の生成によってその合成が活性化される。以上から、我々が想定した活性酸素による花成制御には十分、その関与が想定された。

低温による花成の誘導とグルタチオンの代謝との関係を確かめるため、トルコギキョウ(春化処理をしない場合、花成はおきない)の抽だいをグルタチオンが促進できるかを試験した。その結果、春化処理無しでもトルコギキョウに抽だいを誘導できることが明らかになった。一方、春化処理を施す際に、新規なグルタチオンの合成を抑制すると春化処理の効果がなくなることも確かめられた。

春化处理直後にトルコギキョウ内の過酸化物質レベルは上昇し、グルタチオンのレベルも上昇した。それに呼応して、グルタチオンの合成系の鍵酵素の活性化が起きていた。春化处理時にグルタチオン合成を抑制すると過酸化物質レベルは上昇するが、春化处理の抽だい誘導効果は消失すること、および他のチオール化合物ではグルタチオンの効果を代替できないことから、春化による花成にはグルタチオンが必要不可欠であることが明らかになった。

一方、集光装置の欠損した *ch1* 変異体では、グルタチオンの前駆体が過剰に蓄積し、花成が遅延することを見出したことで、葉緑体がグルタチオン合成の主要な細胞内小器官であることを明らかにした。この発見によって、強い光ほど花成を促進するという経験則は、グルタチオンをめぐる分子メカニズムで裏打ちされた。

以上をもとにグルタチオンによる花成調節機構を含めて、図 3.3-4 のような経路を提唱した。

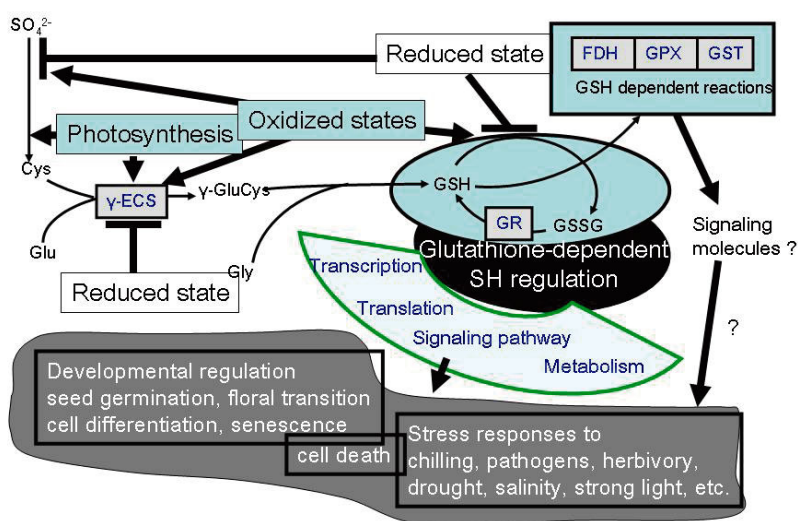


図 3.3-4 グルタチオンによる生長制御の分子制御機構。Ogawa (2005) *Antioxidants & Redox Signaling* 7: 973-981 より。

② 北方林針葉樹の花成決定時期とリノレン酸量との関係

北海道立林業試験場(美唄市)構内のクローン集植所に生育する針葉樹(グイマツ、カラマツ、アカエゾマツ、トドマツ)を標準木として月一回のサンプリングを行い、膜脂質のリノレン酸量と花成の決定時期との関係について調査した(2003年5月より。現在も継続中)。北海道立林業試験場(美唄市)構内に植生された複数個体をモニタリング用の樹木として設定し、月に一度、その樹木からリノレン酸測定用にサンプリングした。

グイマツの花成時期とその指標遺伝子

回帰分析の結果から、北海道立林業試験場(美唄市)に生育するグイマツの花数(豊凶)は、前年の5月上旬までの低温と6月の高温との2つの気象要因と正の相関があることが示されている(内山、来田、黒丸、未発表)。花成の決定時期を特定するために、北海道立林業試験場(美唄市)構内のクローン集植所に生育するグイマツから *LFY* と相同な2つの遺伝子 *LGY1*、*LGY2* を単離した。*LGY1*、*LGY2* 遺伝子は、どちらもシロイヌナズナ *LFY* とアミノ酸配列にして71%の相同性をもち、その機能に重要だと考えられている領域が多くの植物種の *LFY* 相同遺伝子と同様に高度に保存されていた。これらの遺伝子の発現部位は、翌年の花器官が形成される芽で高い発現が認められ、葉や長枝ではほとんど発現は認められなかった(図 3.3-5)。また、その発現は、開花した

雄花、雌花でも認められたものの、翌年の花器官が形成される芽での発現より低いことがわかった。したがって、*LGY1* 及び *LGY2* 遺伝子は、雄花・雌花の両花器官の形成に加え、花芽形成の開始に関与すると考えられた。*LGY1* の発現量は花芽形成が開始すると考えられる 5 月から増加し 9 月に減少した(図 3.3-6)が、*LGY2* の発現に季節変動は認められなかった。従って、*LGY1* 遺伝子がグイマツの花芽の決定に関与すると考えられる。*LGY1* 遺伝子はラジアータマツ(*Pinus radiata*)の *PRFLL* と高い相同性(99%)を示す。*PRFLL* はシロイヌナズナの花器官形成に関わる MADS-box 遺伝子 *APETALA1(AP1)* および *AGAMOUS* の *LEAFY* 結合部位に結合できることが報告されており、上記の結論と矛盾しない。

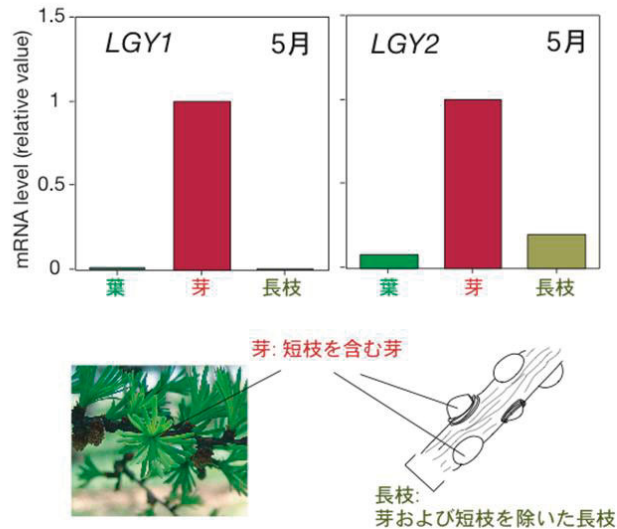


図 3.3-5 落葉針葉樹グイマツの *LGY1* および *LGY2* 遺伝子の発現部位。5 月の葉、芽(短枝を含む)、長枝における *LGY* 遺伝子の発現量を定量的 RT-PCR によって調べた。*LGY1*、*LGY2* ともに芽での発現量を 1 としたときの相対値で示している。

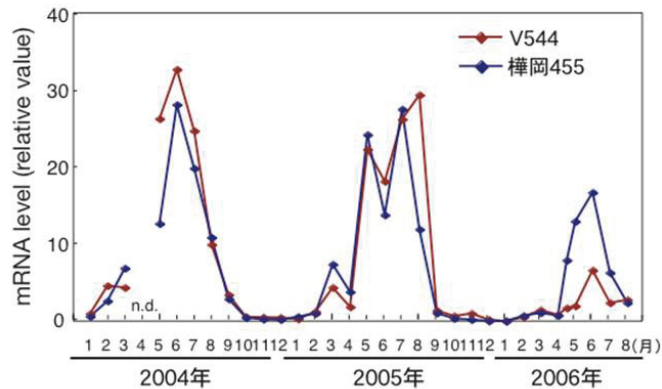


図 3.3-6 落葉針葉樹グイマツの *LGY1* 遺伝子の発現開始時期。月 1 回採取したグイマツのクローン V544 および 樺岡 455 の 1 年生枝を用いて、*LGY1* 遺伝子の発現量を定量的 RT-PCR によって調べた。V544 の 2004 年 1 月を 1 としたときの相対値で示している。

グイマツにおける花器官の形成開始時期を調べるため、グイマツからシロイヌナズナ花器官形成遺伝子 *AGAMOUS* と相同な遺伝子を単離した。このグイマツ *AGAMOUS* 相同遺伝子は、シロイヌナズナ *AGAMOUS* 遺伝子と相同な機能をもつと報告されているトウヒ属(*Picea*)の *DAL2* 遺伝子や *SAG1* 遺伝子と非常に高い相同性(99.5%)を示した。その発現部位は、翌年の花器官が形

成されていると考えられる芽に比べ、開花した雄花および雌花で 20～30 倍の高い発現が認められたことから、単離した相同遺伝子はグイマツの花器官形成に関わると考えられた。グイマツ *AGAMOUS* 相同遺伝子の芽における発現は、7～8 月から認められたことから、グイマツでは 7～8 月頃には花器官が形成されていると考えられる。この時期は *LGY1* の発現開始時期よりも遅いことから、*LGY1* は花器官の形成前に発現することが示唆される。

LGY1 遺伝子発現量の季節変動を 2004 年から 2006 年までの気温と比較したところ、5 月に低温が続いた 2005 年では、2004 年、2006 年に比べ *LGY1* の発現開始時期が早まっていた。*LGY1* 遺伝子の発現が低温によって誘導されるのかを調べるため、2006 年にカラマツの台木に接ぎ木した鉢植えのグイマツを用いて操作実験をおこなった。接ぎ木した後に 1 年生枝が伸長した鉢植えのグイマツを、2007 年 4 月下旬に人工気象室(低温科学研究所・寒冷圏環境バイオロン)で低温処理(明期 15 時間・7℃、暗期 9 時間・2℃)および常温処理(明期 15 時間・17℃、暗期 9 時間・7℃)を 3 週間おこなった後、常温処理条件下へ移して 20 日間栽培した。*LGY1* 遺伝子の発現は、低温処理後 10 日目に上昇が認められた(図 3.3-7)。一方、*LGY2* 遺伝子の発現は低温でも影響を受けなかった。

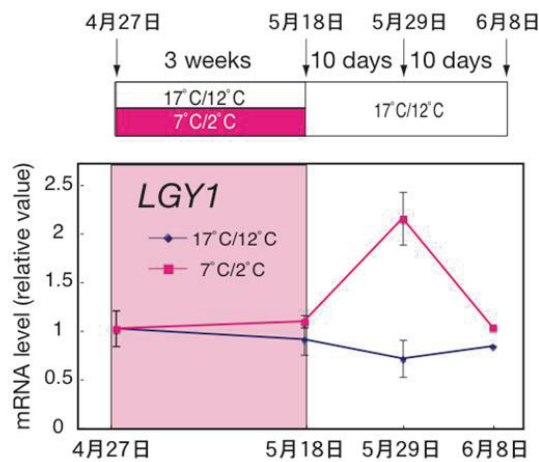


図 3.3-7 低温による落葉針葉樹グイマツの *LGY1* 遺伝子の発現誘導。接ぎ木した鉢植えのグイマツを 3 週間の低温または常温処理後、常温条件下へ移したときの 1 年生枝における *LGY1* 遺伝子の発現量を調べた。4 月 27 日の発現量を 1 とした相対値で示している。

2004 年から 2006 年までの *LGY1* 遺伝子発現量と翌年の開花数との関係では、6 月の *LGY1* 遺伝子の発現量に開花数と正の相関が認められた。回帰分析の結果から、グイマツでは 6 月上旬の高温も翌年の生り年と相関が高いことがわかっている(内山、来田、黒丸、未発表)。*LGY1* 遺伝子が開花数に影響を与える時期は、生り年に影響を与える気象要因が認められる時期と一致した。

以上の結果から、*LGY1* の発現はシロイヌナズナの *LFY* と同様に低温処理で促進されることが考えられた。

グイマツとカラマツにおける花成とリノレン酸量との関係

グイマツのリノレン酸量は開葉時期から 7 月にかけて上昇し、その後 8 月で減少するという変動傾向を示した。5～7 月の各月のリノレン酸量と翌年の着花率(枝 20 本あたりの着花枝数)との関係を見ると 5 月、6 月では負の相関が認められ、7 月には正の相関に変わった(図 3.3-8)。測定年別では、負の相関を示す傾向が認められた(図 3.3-9)。個別別に見ると、6 月には負の相関が認められた(図 3.3-10)。7 月にはその相関がなくなる代わりに、正の相関を示す個体も見られた。*LGY1* の発現時期も考慮すると、この結果は、リノレン酸は花芽決定の抑制因子として働き、気温の上昇後にはその分解派生物が花成を促進するというモデルがグイマツでも成り立つことを示していると考えられた。一方、カラマツの着花率も 6 月にはリノレン酸量と負の相関を示し、7 月には正の相関を示した(図 3.3-11、3.3-12)ことから、図 3.3-3 のモデルは強く支持される。年別のリノレン酸量と

着花率との関係は、6月でもむしろ正の相関が認められたことから、気温の上昇によるリノレン酸の分解派生物の生成量も花成の促進には重要であると考えられる。

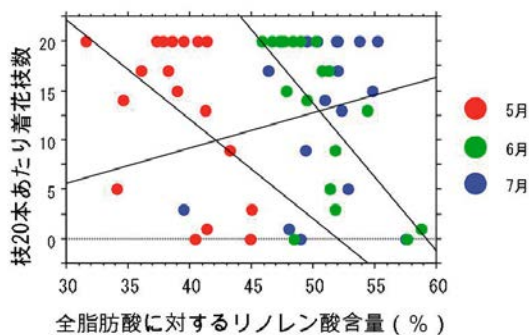


図 3.3-8 落葉針葉樹グイマツの着花枝数と葉のリノレン酸含量との関係。2次枝の葉の脂肪酸を測定した。計測値は、それぞれの月で複数クローンの個別および年別の結果を示している。

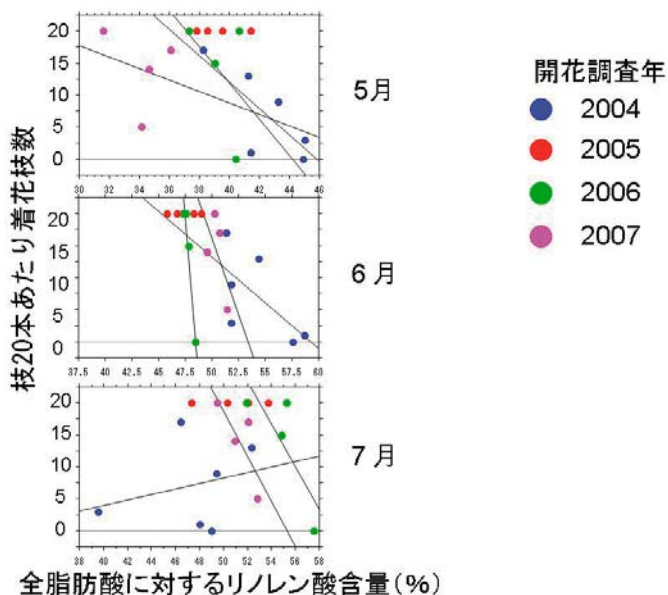


図 3.3-9 落葉針葉樹グイマツの月ごとの着花枝数と葉のリノレン酸含量との関係。2次枝の葉の脂肪酸を測定した。計測値は複数クローンの個別および年別の結果を示している。

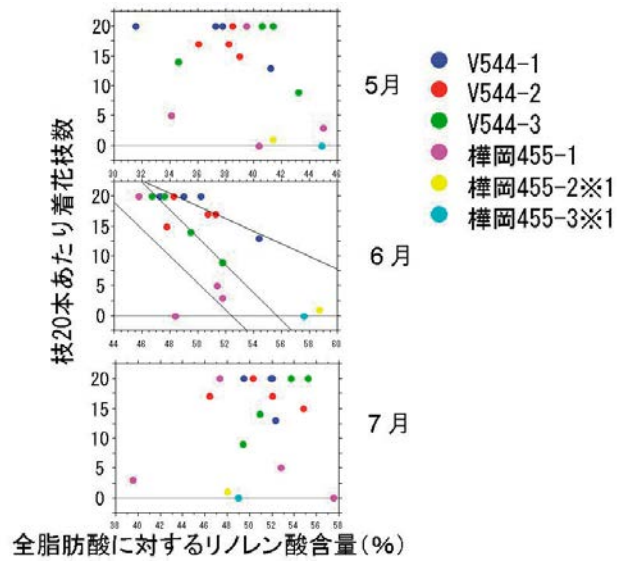


図 3.3-10 落葉針葉樹グイマツの月ごとの着花枝数と葉のリノレン酸含量との関係。2次枝の葉の脂肪酸を測定した。計測値は複数クローンの個別別および年別の結果を示している。個別別に回帰分析を行った。

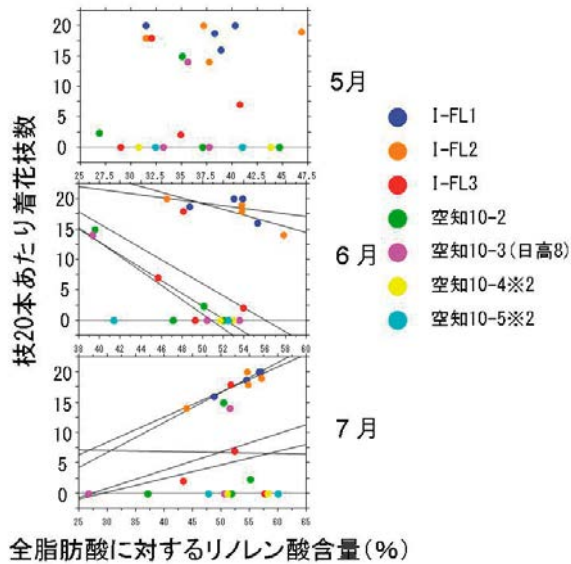


図 3.3-11 落葉針葉樹カラマツの月ごとの着花枝数と葉のリノレン酸含量との関係。2次枝の葉の脂肪酸を測定した。計測値は複数クローンの個別別および年別の結果を示している。個別別に回帰分析を行った。

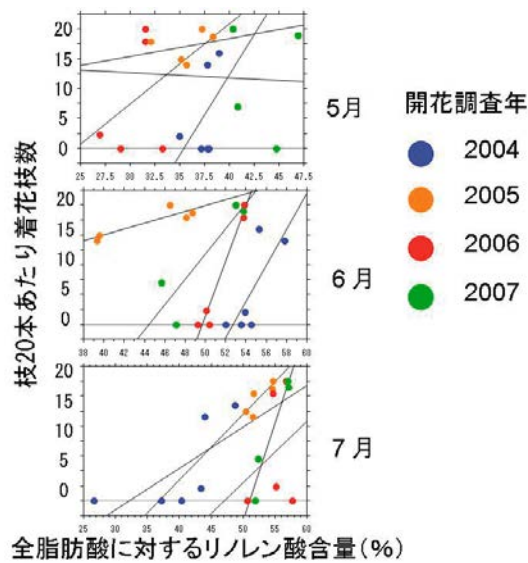


図 3.3-12 落葉針葉樹カラマツの月ごとの着花枝数と葉のリノレン酸含量との関係。2次枝の葉の脂肪酸を測定した。計測値は複数クローンの個別別および年別の結果を示している。

常緑針葉樹の花成とリノレン酸量との関係

アカエゾマツとトドマツは、カラマツとグイマツと異なり、常緑の針葉樹である。どちらの樹種でも、花の着く枝は、前年に新しく芽吹いた枝である。当年枝と一年生の枝から葉を採取し、リノレン酸量と着花量と着花率との関係を調べた。トドマツでは、芽吹いたばかりの5月の葉で、正の相関が認められる以外は、5月から7月まで負の相関が認められた(図 3.3-13)。アカエゾマツの着花量は、当年枝の6月および7月のリノレン酸量と正の相関を示した一方で、着花率については5月で高い相関が認められた(図 3.3-14)。リノレン酸による花成抑制とリノレン酸からの派生物による花成促進を考えると、用いたアカエゾマツはリノレン酸量がトドマツよりも極端に少ないため、抑制よりはむしろ、花成の促進のためにリノレン酸の分解物を要求していると考えられる。5月の正の相関は、リノレン酸量が少ない時期であるため、リノレン酸の分解物の量が律速になっている可能性を示している。また、アカエゾマツよりもトドマツの方が枝あたりの花数が少ないのは、トドマツの方がリノレン酸量が極端に高いため花成の抑制機構が強いことを反映しているのかもしれない。

(2) 研究成果の今後期待される効果

本研究では、リノレン酸量をモニターすることによって花数の豊凶を開花前に知ることができることが明らかになった。この成果は、林業だけではなく、農業的にも園芸的にも有用であると考えられる。詳しくは、生態学的解析グループの項にまとめて述べる。

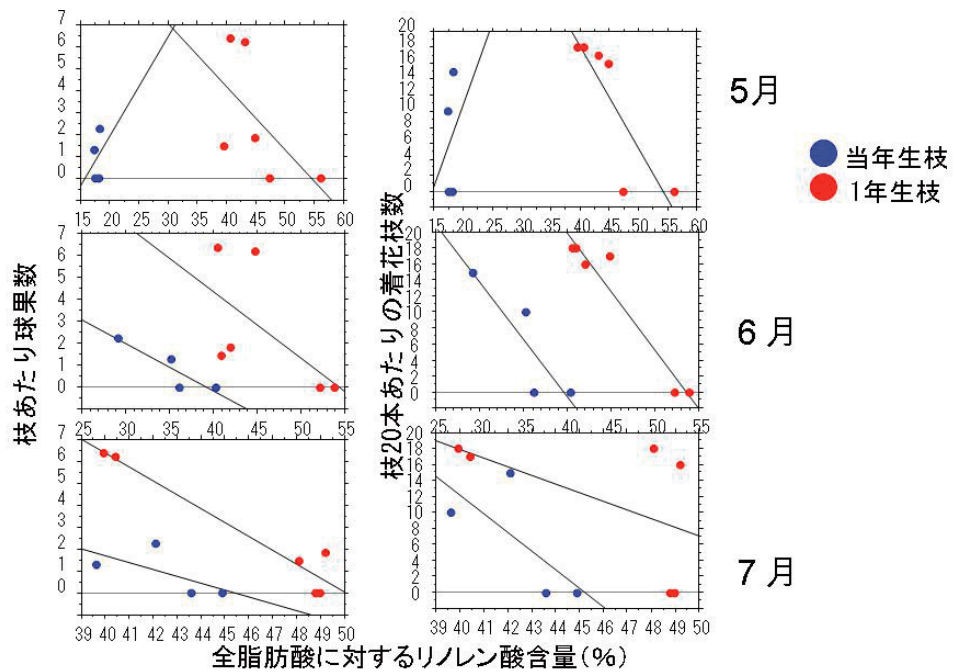


図 3.3-13 常緑針葉樹トドマツの月ごとの平均着花数、着花率と葉のリノレン酸含量との関係。次の年に花を着けない1年生枝と次の年に球果を着ける可能性のある当年枝のそれぞれで脂肪酸を測定した。計測値は2個体の複数年の結果を示している。

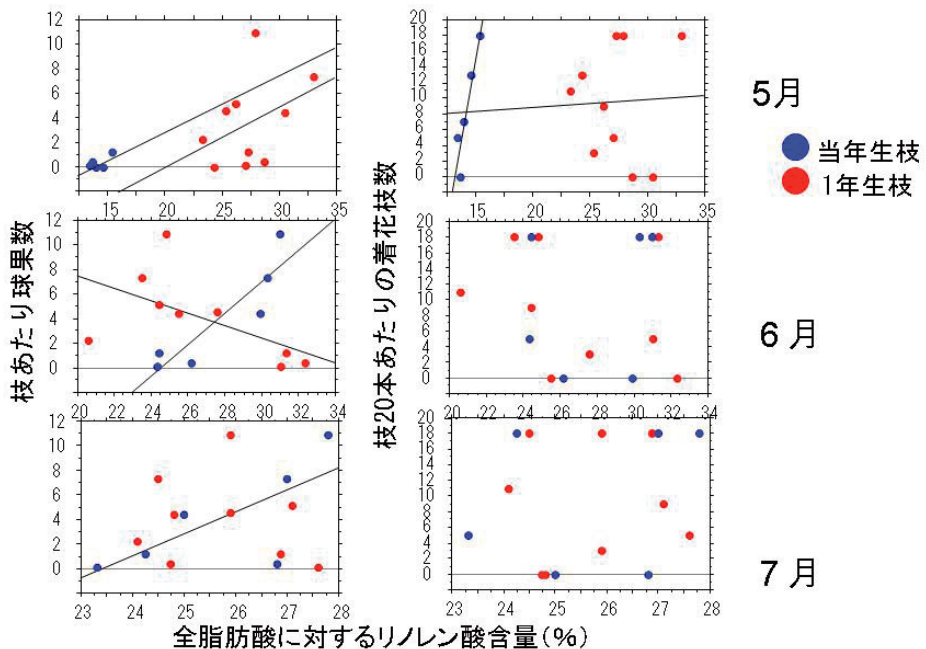


図 3.3-14 常緑針葉樹アカエゾマツの月ごとの着花数、着花率と葉のリノレン酸含量との関係。アカエゾマツの球果は、前年に出芽した枝の先端につく。次の年に花を着けない1年生枝と次の年に球果を着ける可能性のある当年枝のそれぞれで脂肪酸を測定した。計測値は3個体の複数年の結果を示している。

4 研究参加者

①生態学的解析グループ

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
原 登志彦	北海道大学低温科学研究所	教授	グループ及び全体の総括、北方林再生・維持のモデリング	平成14年11月～平成20年3月
隅田 明洋	北海道大学低温科学研究所	准教授	野外における生態学的調査	平成14年11月～平成20年3月
小野 清美	北海道大学低温科学研究所	助教	バイオトロンを用いた生理・生化学的実験、分子的解析	平成14年11月～平成20年3月
加藤 京子	北海道大学低温科学研究所	非常勤研究員	野外における生態学的調査	平成14年11月～平成20年3月
MOHAREKA R, Shubhangi Sanjay (旧氏名: LOKHANDE, Shubhangi D.)	北海道大学低温科学研究所	CREST研究員	野外試料の生理・生化学的解析	平成15年2月～平成20年3月
宇梶 徳史	北海道大学低温科学研究所	CREST研究員	バイオトロン及び野外の試料の分子生物学的解析	平成15年4月～平成20年3月
岩崎 郁	北海道大学低温科学研究所	非常勤研究員	光合成活性の測定・光ストレスによる花成の解析	平成15年7月～平成18年3月
植村 滋	北海道大学北方生物圏フィールド科学センター	准教授	野外における生態学的調査	平成15年4月～平成20年3月
小林 剛	香川大学農学部	准教授	野外における生態学的調査	平成15年4月～平成20年3月
高橋 耕一	信州大学理学部	准教授	野外における物理環境測定	平成15年4月～平成20年3月
西村 誠一	農業環境技術研究所	研究員	野外における光環境測定	平成15年4月～平成20年3月
渡辺 一郎	北海道立林業試験場林業経営部	育林科長	林業試験場標準木の生り年調査及び葉と枝サンプルの採取	平成16年4月～平成18年3月
八坂 通泰	北海道立林業試験場林業経営部	主任研究員	林業試験場標準木の生り年調査及び葉と枝サンプルの採取	平成18年3月～平成19年5月
大野 泰之	北海道立林業試験場林業経営部	研究職員	林業試験場標準木の生り年調査及び葉と枝サンプルの採取	平成16年4月～平成20年3月
滝谷 美香	北海道立林業試験場林業経営部	研究職員	林業試験場標準木の生り年調査及び葉と枝サンプル	平成16年4月～平成18年3月

	営部		の採取	
中川 昌彦	北海道立林業試験場林業経営部	研究職員	林業試験場標準木の生り年調査及び葉と枝サンプルの採取	平成18年4月～平成20年3月
黒丸 亮	北海道立林業試験場林業経営部	主任研究員	林業試験場圃場における気象観測	平成16年4月～平成20年3月
来田 和人	北海道立林業試験場林業経営部	育種科長	林業試験場圃場におけるグイマツ、カラマツ幼木の操作実験	平成16年4月～平成20年3月
内山 和子	北海道立林業試験場林業経営部	研究職員	林業試験場圃場におけるグイマツ、カラマツ幼木の操作実験	平成16年4月～平成20年3月
山田 健四	北海道立林業試験場林業経営部	育林科長	林業試験場標準木の生り年調査及び葉と枝サンプルの採取	平成19年6月～平成20年3月
市村 康裕	北海道立林業試験場林業経営部	研究職員	林業試験場標準木の生り年調査及び葉と枝サンプルの採取	平成19年6月～平成20年3月
LASKA, Kamil	マサリク大学理学部(チェコ共和国)	助教	林業試験場圃場における気象観測と気象データの解析	平成16年4月～平成20年3月
渡辺 力	北海道大学低温科学研究所	教授	野外における森林の気象条件の測定	平成17年4月～平成20年3月
横沢 正幸	農業環境技術研究所	気候資源ユニット研究リーダー	野外における森林の気象条件の測定	平成17年4月～平成20年3月
BAE, Jeong-Jin	北海道大学低温科学研究所	外国人客員研究員	常緑針葉樹の耐寒性に関する生理生態学的実験	平成17年3月～平成18年12月
佐伯 孝子	北海道大学低温科学研究所	CREST研究補助員	事務	平成14年12月～平成20年3月

②生理・生化学的解析グループ

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
田中 歩	北海道大学低温科学研究所	教授	グループの総括 冬季の光合成特性	平成14年11月～平成20年3月
皆川 純	北海道大学低温科学研究所	准教授	冬季葉緑体の光傷害回避機構	平成14年11月～平成20年3月
田中 亮一	北海道大学低温科学研究所	助教	遺伝子の単離とそのためのシステムの構築	平成14年11月～平成20年3月

山里 明弘	北海道大学低温科学研究所	CREST 研究員	葉緑体の構造解析	平成 14 年 11 月～ 平成 18 年 3 月
永田 望	北海道大学低温科学研究所	研究員	光合成遺伝子の発現制御	平成 15 年 4 月～ 平成 19 年 3 月
Dhepe. P. Aarti	北海道大学低温科学研究所	学生	代謝中間体と光傷害	平成 15 年 4 月～ 平成 19 年 3 月
長根 智洋	北海道大学低温科学研究所	学生	代謝中間体の機能解析	平成 18 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
櫻庭 康仁	北海道大学低温科学研究所	学生	代謝中間体の機能解析	平成 18 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
菅原 誠	北海道大学低温科学研究所	学生	集光装置の制御機構	平成 18 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
平島 真澄	北海道大学低温科学研究所	CREST 研究補助員	変異株の単離	平成 15 年 4 月～ 平成 19 年 3 月
田中 佐知子	北海道大学低温科学研究所	研究補助員	光合成の測定	平成 15 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
岸本 純子	北海道大学低温科学研究所	研究補助員	イチイの光合成装置の解析	平成 15 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
佐藤 壮一郎	北海道大学低温科学研究所	学生	色素分解系の遺伝子の単離と同定	平成 15 年 4 月～ 平成 18 年 3 月
中河原 永基	北海道大学低温科学研究所	学生	植物の培養と管理	平成 17 年 4 月～ 平成 18 年 3 月
北村 奈穂子	北海道大学低温科学研究所	研究補助員	変異株の単離	平成 15 年 4 月～ 平成 16 年 3 月

③分子生物学的解析グループ

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
小川 健一	岡山県生物科学総合研究所細胞機能解析研究室	室長	グループ総括 CO ₂ 分析・変異体のスクリーニング, 生理解析	平成 14 年 11 月～ 平成 20 年 3 月
逸見 健司	岡山県生物科学総合研究所細胞機能解析研究室	非常勤研究員	形質転換体の作成 ストレス誘導時の遺伝子発現解析	平成 14 年 11 月～ 平成 20 年 3 月
柳田 元継	岡山県生物科学総合研究所細胞機能解析研究室	流動研究員	レドックス制御因子の挙動解析 低温誘導性の花成の解析	平成 14 年 11 月～ 平成 18 年 3 月
岩崎 郁	岡山県生物科学総合研究所細胞機能解析研究室	流動研究員	光合成活性の測定・光ストレスによる花成の解析	平成 18 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
小倉 美智子	岡山県生物科学総合研究所細胞機能解析研究室	CREST 研究補助員	実験器具の洗浄、植物の育成・管理補助	平成 14 年 12 月～ 平成 20 年 3 月

宮原 直織美	岡山県生物科学 総合研究所細胞 機能解析研究室	CRES T 研究 補助員	変異体のスクリーニング・形 質転換体の作成・ストレス誘 導時の遺伝子発現解析	平成 15 年 2 月～ 平成 19 年 2 月
松本 雅好	岡山県生物科学 総合研究所細胞 機能解析研究室	CRES T 研究 補助員	実験データの整理、実験・測 定	平成 15 年 4 月～ 平成 18 年 8 月
兒玉 なつ美	岡山県生物科学 総合研究所細胞 機能解析研究室	CRES T 研究 補助員	変異体のスクリーニング・形 質転換体の作成・ストレス誘 導時の遺伝子発現解析, 形 質転換体の管理・育成, 脂 肪酸のサンプル調整補助	平成 16 年 4 月～ 平成 19 年 3 月
中道 靖史	岡山県生物科学 総合研究所細胞 機能解析研究室	CRES T 研究 補助員	実験データの整理、植物育 成補助	平成 15 年 4 月～ 平成 15 年 10 月
宮田 奈央子	岡山県生物科学 総合研究所細胞 機能解析研究室	CRES T 研究 補助員	実験データの整理、植物育 成補助、変異体のスクリー ニング補助	平成 15 年 7 月～ 平成 15 年 9 月
杉本 貢一	岡山県生物科学 総合研究所細胞 機能解析研究室	CRES T 研究 補助員	変異体のスクリーニング・形 質転換体の作成・ストレス誘 導時の遺伝子発現解析, 形 質転換体の管理・育成, 脂 肪酸のサンプル調整補助	平成 16 年 4 月～ 平成 17 年 3 月
平賀 勸	農業・食品産業 技術総合研究機 構作物研究所	研究員	グルタチオン代謝の改変植 物の作成, その表現型の解 析	平成 18 年 9 月～ 平成 20 年 3 月

5 招聘した研究者等

氏 名(所属、役職)	招聘の目的	滞在先	滞在期間
Klaus Apel (Institute for Plant Sciences Swiss Federal Institute of Technology, Professor)	シンポジウムでの招待 講演および研究打ち合 わせのため	東京都立大学、東京 工業大学、北海道大 学低温科学研究所、 岡山県生物科学総合 研究所	平成 16 年 3 月 18 日 ～平成 16 年 3 月 30 日
Christine H. Foyer (Rothamsted Research Crop Performance and Improvement Division, Professor)	シンポジウムでの招待 講演および研究打ち合 わせのため	東京都立大学、岡山 県生物科学総合研究 所	平成 16 年 3 月 23 日 ～平成 16 年 3 月 29 日
Andrea Polle (Institut für Forstbotanik Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Professor)	シンポジウムでの招待 講演のため	東京都立大学	平成 16 年 3 月 25 日 ～平成 16 年 3 月 30 日

6 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内誌 2 件、国際誌 74 件)

Stoll P., Weiner J., Muller-Landau H., Muller E. & Hara T. (2002) Size symmetry of competition alters biomass-density relationships. *Proceedings of the Royal Society of London Series B – Biological Sciences* 269: 2191-2195.

Takahashi K., Uemura S. & Hara T. (2002) Effect of understory dwarf bamboo on seasonal changes in soil temperature in a *Betula ermanii* forest, northern Japan. *Eurasian Journal of Forest Research* 5: 49-53.

Nishimura N., Hara T., Miura M., Manabe T. & Yamamoto S. (2002) Tree competition and species coexistence in a warm-temperate old-growth evergreen broad-leaved forest in Japan. *Plant Ecology* 164: 235-248.

Srutek M., Dolezal J. & Hara T. (2002) Spatial structure and associations in a *Pinus canariensis* population at the treeline, Pico del Teide, Tenerife, Canary Islands. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 34: 201-210.

Sumida A., Terazawa I., Togashi A. & Komiyama A. (2002) Spatial arrangement of branches in relation to slope and neighbourhood competition. *Annals of Botany* 89: 301-310.

Teramoto H., Nakamori A., Minagawa J. & Ono T.-A. (2002) Light intensity-dependent expression of *Lhc* gene family encoding light-harvesting chlorophyll-*a/b* proteins of photosystem II in *Chlamydomonas reinhardtii*. *Plant Physiol.* 130: 325-333.

Kawamori A., Katsuta N., Mino H., Ishii A., Minagawa J. & Ono T.-A. (2002) Positions of Q_A and Chl_z relative to Tyrosine Y_Z and Y_D in photosystem II studied by pulsed EPR. *J. of Biol. Phys.* 28: 413-426.

Jeans C., Schilstra M. J., Ray N., Husain S., Minagawa J., Nugent J. H. A. & Klug D. R. (2002) Replacement of Tyrosine D with Phenylalanine affects the normal proton transfer pathways for the reduction of P680⁺ in oxygen-evolving photosystem II particles from *Chlamydomonas*. *Biochemistry* 41: 15754-15761.

Tsuboi S., Kotani Y., Ogawa K., Hatanaka T., Yatsushiro S., Otsuka M. & Moriyama Y. (2002) An intramolecular disulfide bridge as a catalytic switch for serotonin N-acetyltransferase. *J. Biol. Chem.* 277: 44229-44235.

Mino M., Maekawa K., Ogawa K., Yamagishi H. & Inoue M. (2002) Cell death processes during expression of hybrid lethality in interspecific F1 hybrid between *Nicotiana glauca* Domin and *N. tabacum* L. *Plant Physiol.* 130: 1776-1787.

Nishikawa M. & Ogawa K. (2002) Distribution of microbes producing antimicrobial ε-poly-L-lysine polymers in soil microflora determined by a novel method. *Appl. Environ. Microbiol.* 68: 3575-3581.

前川和正, 小川健一, 渡辺和彦, 神頭武嗣, 相野公孝, 岩本豊 (2002) いもち病菌接種時のイネにおけるケイ素による活性酸素の生成助長. *土肥誌* 73: 509-514.

- Homma K., Takahashi K., Hara T., Vetrova V.P. & Florenzev S. (2003) Regeneration processes of a boreal forest in Kamchatka with special reference to the contribution of sprouting to population maintenance. *Plant Ecology* 166: 25-35.
- Takahashi K., Mitsuishi D., Uemura S., Suzuki J. & Hara T. (2003) Stand structure and dynamics during a 16-year period in a sub-boreal conifer-hardwood mixed forest, northern Japan. *Forest Ecology and Management* 174: 39-50.
- Lokhande S.D., Ogawa K., Tanaka A. & Hara T. (2003) Effect of temperature on ascorbate peroxidase activity and flowering of *Arabidopsis thaliana* ecotypes under different light conditions. *Journal of Plant Physiology* 160: 57-64.
- Satoh S. & Tanaka A. (2003) Chlorophyll *b* inhibits the formation of photosystem I trimer in *Synechocystis* sp. PCC6803. *FEBS Letters* 528: 235-240.
- Masuda T., Tanaka A. & Melis A. (2003) Irradiance-dependent adjustment of chlorophyll antenna size of *Dunaliella salina* is regulated by coordinate expression of chlorophyll *a* oxygenase (CAO) and Lhcb genes with shared signaling pathways. *Plant Mol. Biol.* 51: 757-771.
- Watanabe M., Henmi K., Ogawa K. & Suzuki T. (2003) Cadmium-dependent generation of reactive oxygen species and mitochondrial DNA breaks in photosynthetic and non-photosynthetic strains of *Euglena gracilis*. *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol.* 134: 227-34.
- Moharekar S.T., Lokhande S.D., Hara T., Tanaka R., Tanaka A. & Chavan P.D. (2003) Effect of salicylic acid on chlorophyll and carotenoid contents of wheat and moong seedlings. *Photosynthetica* 41: 315-317.
- Takahashi K., Uemura S., Suzuki J. & Hara T. (2003) Effects of understory dwarf bamboo on soil water and growth of overstory trees in a dense secondary *Betula ermanii* forest, northern Japan. *Ecological Research* 18: 755-762.
- Matsuki S., Ogawa K., Tanaka A. & Hara T. (2003) Morphological and photosynthetic responses of *Quercus crispula* seedlings to high-light conditions. *Tree Physiology* 23: 769-775.
- Ono K., Sasaki H., Hara T., Kobayashi K. & Ishimaru K. (2003) Changes in photosynthetic activity and export of carbon by overexpressing a maize sucrose-phosphate synthase gene under elevated CO₂ in transgenic rice. *Plant Production Science* 6: 281-286.
- Tanaka R., Hirashima M., Satoh S. & Tanaka A. (2003) The Arabidopsis-accelerated cell death gene ACD1 is involved in oxygenation of pheophorbide a: inhibition of the pheophorbide a oxygenase activity does not lead to the "stay-green" phenotype in *Arabidopsis*. *Plant and Cell Physiology* 44: 1266-1274.
- Ito H., Iwabuchi M. & Ogawa K. (2003) The sugar-metabolic enzymes aldolase and triose-phosphate isomerase are targets of glutathionylation in *Arabidopsis thaliana*: Detection using biotinylated glutathione. *Plant and Cell Physiology* 44: 655-660.

松木佐和子、小川健一、田中歩、原登志彦 (2003) ミズナラ実生の異なる光環境に対する形態的・生理的可塑性。 *北海道大学演習林研究報告* 60: 91-100.

Watanabe T., Yokozawa M., Emori S., Takata K., Sumida A. & Hara T. (2004) Developing the multilayered integrated numerical model of surface physics-growing plants interaction, MINoSGI. *Global Change Biology* 10: 963-982.

Nakatsuka T., Ohnishi K., Hara T., Sumida A., Mitsuishi D., Kurita N. & Uemura S. (2004) Oxygen and carbon isotopic ratios of tree-ring cellulose in a conifer-hardwood mixed forest in northern Japan. *Geochemical Journal* 38: 77-88.

Dolezal J., Stastna P., Hara T. & Srutek M. (2004) Neighbourhood interactions and environmental factors influencing old-pasture succession in the Central Pyrenees. *Journal of Vegetation Science* 15: 101-108.

Ishimaru K., Ono K. & Kashiwagi T. (2004) Identification of a new gene controlling plant height in rice using the candidate-gene strategy. *Planta* 218: 388-395.

Tokutsu R., Teramoto H., Takahashi Y., Ono T. & Minagawa J. (2004) The light-harvesting complex of photosystem I in *Chlamydomonas reinhardtii*: protein composition, gene structures and phylogenetic implications. *Plant and Cell Physiology* 45: 138-145.

Eggink L.L., LoBrutto R., Brune D.C., Brusslan J., Yamasato A., Tanaka A. & Hooper J.K. (2004) Synthesis of chlorophyll b: localization of chlorophyllide a oxygenase and discovery of a stable radical in the catalytic subunit. *BMC Plant Biology* 2004,4:5 doi:10.1186/1471-2229-4-5.

Mino M., Abe S., Suzuki T., Yokoyama H., Kaminaka H., Ogawa K., Morita S., Masumura T., Tanaka K. & Inoue M. (2004) Hydrogen peroxide functions as a cell death signal for hybrid lethality in the F1 of *Nicotiana glauca* x *N. glauca*. *Plant Science* 167: 267-274.

Yanagida M., Mino M., Iwabuchi M. & Ogawa K. (2004) Reduced glutathione is a novel regulator of the vernalization-induced bolting in the rosette plant *Eustoma grandiflorum*. *Plant and Cell Physiology* 45: 129-137.

Nishikawa M. & Ogawa K. (2004) Antimicrobial activity of a chelatable poly (arginyl-histidine) produced by the ergot fungus *Verticillium kibiense*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 48: 229-235.

Ogawa K., Hatano-Iwasaki A., Yanagida M. & Iwabuchi M. (2004) Level of glutathione is regulated by ATP-dependent ligation of glutamate and cysteine through photosynthesis in *Arabidopsis thaliana*: Mechanism of strong interaction of light intensity with flowering. *Plant and Cell Physiology* 45: 1-8.

Takahashi K., Matsuki S., Uemura S. & Hara T. (2004) Variations in the maximum photosynthetic rate of *Betula ermanii* in relation to soil water potential. *Vegetation Science* 21: 103-108.

Li B., Shibuya T., Yogo Y. & Hara T. (2004) Effects of ramet clipping and nutrient

availability on growth and biomass allocation of yellow nutsedge. *Ecological Research* 19: 603-612.

Dolezal J., Ishii H., Vetrova V.P., Sumida A. & Hara T. (2004) Tree growth and competition in a *Betula platyphylla-Larix cajanderi* post-fire forest in central Kamchatka. *Annals of Botany* 94: 333-343.

Nagata N., Satoh S., Tanaka R. & Tanaka A. (2004) Domain structures of chlorophyllide a oxygenase of green plants and *Prochlorothrix hollandica* in relation to catalytic functions. *Planta* 218: 1019-1025.

Mimuro M. & Tanaka A. (2004) The *in vivo* and *in vitro* reconstitution of pigment-protein complexes, and its implication in acquiring a new system. *Photosynthesis Research* 81: 129-137.

Morita-Yamamuro C., Tsutsui T., Tanaka A. & Yamaguchi J. (2004) Knock-out of the plastid ribosomal protein S21 causes impaired photosynthesis and sugar-response during germination and seedling development in *Arabidopsis thaliana*. *Plant & Cell Physiology* 45: 781-788.

Inoue H., Tsuchiya T., Satoh S., Miyashita H., Kaneko T., Tabata S., Tanaka A. & Mimuro M. (2004) Unique constitution of photosystem I with a novel subunit in the cyanobacterium *Gloeobacter violaceus* PCC 7421. *FEBS Letters* 578: 275-279.

Nishikawa M. & Ogawa K. (2004) Occurrence of D-histidine residues in antimicrobial poly(arginyl-histidine), conferring resistance to enzymatic hydrolysis. *FEMS Microbiology Letters* 239: 255-259.

Senda K. & Ogawa K. (2004) Induction of PR-1 accumulation accompanied with runaway cell death in the *lsd1* mutant of *Arabidopsis* is dependent on glutathione levels but independent of the redox state of glutathione. *Plant & Cell Physiology* 45: 1578-1585.

Nagata N., Tanaka R., Satoh S. & Tanaka A. (2005) Identification of a vinyl reductase gene for chlorophyll synthesis in *Arabidopsis thaliana* and implications for the evolution of *Prochlorococcus* species. *Plant Cell* 17: 233-240.

Mino M., Misaka Y., Ueda J., Ogawa K. & Inoue M. (2005) Hybrid lethality of cultured cells of an interspecific F1 hybrid of *Nicotiana glauca* Domin and *N. tabacum* L. *Plant Cell Reports* DOI: 10.1007/s00299-005-0923-2

Nishimura N., Hara T., Miyadokoro T., Hoshino D. & Yamamoto S. (2005) Promotion of species co-existence in old-growth coniferous forest through interplay of life-history strategy and tree competition. *Journal of Vegetation Science* 16: 549-558.

Tripathi S.K., Sumida A., Shibata H., Uemura S., Ono K. & Hara T. (2005) Growth and substrate quality of fine root and soil nitrogen availability in a young *Betula ermanii* forest of northern Japan: Effects of the removal of understory dwarf bamboo (*Sasa kurilensis*). *Forest Ecology and Management* 212: 278-290.

Akimoto S., Yokono M., Ohmae M., Yamazaki I., Tanaka A., Higuchi M., Tsuchiya T., Miyashita H. & Mimuro M. (2005) Ultrafast Excitation Relaxation Dynamics of Lutein in Solution and in the Light-Harvesting Complexes II Isolated from *Arabidopsis*

thaliana. *The Journal of Physical Chemistry B* 109(25) : 12612-12619

Akimoto S., Yokono M., Ohmae M., Yamazaki I., Nagata N., Tanaka R., Tanaka A. & Mimuro M. (2005) Excitation energy transfer in the antenna system with divinyl-chlorophylls in the vinyl reductase-expressing *Arabidopsis*. *Chemical Physics Letters* 409:167-171

Tanaka R. & Tanaka A. (2005) Effects of chlorophyllide a oxygenase overexpression on light acclimation in *Arabidopsis thaliana*. *Photosynthesis Research*: 85(3) : 327-340

Tanaka A. (2005) Photosynthetic activities at low temperatures in winter needles of the evergreen tree. *Taxus cuspidata*. *Tree Physiology*: 27(5) : 641-648

Henmi K., Demura T., Tsuboi S., Fukuda H., Iwabuchi M. & Ogawa K. (2005) Change in the redox state of glutathione regulates differentiation of tracheary elements in *Zinnia* cells and *Arabidopsis* roots. *Plant Cell Physiol.* 46: 1757-1765..

Mino M., Misaka Y., Ueda J., Ogawa K. & Inoue M. (2005) Hybrid lethality of cultured cells of an interspecific F1 hybrid of *Nicotiana glauca* Domin and *N. tabacum* L. *Plant Cell Rep.* 24: 179-188.

Ogawa K., Matsumoto M. & Ito H. (2005) Fructose-1,6-bisphosphate aldolase is a target protein of glutathionylation in *Arabidopsis* chloroplasts *In* Photosynthesis: Fundamental Aspects to Global Perspectives (van der Est, A. and Bruce, D. Ed) Vol. 1. pp. 468-470. Allen Press, Inc., Lawrence, KS.

Sustipriyatno, Sugiura M., Ogawa K. & Takahashi M. (2006) Improvement of nitrate- and nitrite-dependent growth of rice by the introduction of a constitutively expressing chloroplastic nitrite transporter. *Plant Biotechnol.* 23: 47-54.

Nishikawa M. & Ogawa K. (2006) Inhibition of epsilon-poly-L-lysine biosynthesis in Streptomycetaceae bacteria by short chain polyols. *Appl. Environ. Microbiol.* 72, 2306-2312

Tripathi S.K., Sumida A., Shibata H., Ono K., Uemura S., Kodama Y. & Hara T. (2006) Leaf litterfall and decomposition of different above- and belowground parts of birch (*Betula ermanii*) tree and dwarf bamboo (*Sasa kurilensis*) shrub in a young secondary forest of Northern Japan. *Biology and Fertility of Soils* 43: 237-246.

Dolezal J., Srutek M., Hara T., Sumida A. & Penttila T. (2006) Neighborhood interactions influencing tree population dynamics in nonpyrogenous boreal forest in northern Finland. *Plant Ecology* 185: 135-150.

Tripathi S.K., Sumida A., Ono K., Shibata H., Uemura S., Takahashi K. & Hara T. (2006) The effects of understorey dwarf bamboo (*Sasa kurilensis*) removal on soil fertility in a *Betula ermanii* forest of northern Japan. *Ecological Research* 21: 315-320.

Suzuki J., Herben T., Krahulec F., Storchova H. & Hara T. (2006) Effects of neighbourhood structure and tussock dynamics on genet demography of *Festuca rubra* in a mountain meadow. *Journal of Ecology* 94: 66-76.

Ma R.J., Du G.Z., Lu B.R., Chen J.K., Sun K., Hara T. & Li B. (2006) Reproductive modes of three *Ligularia* weeds (Asteraceae) in grasslands in Qinghai-Tibet Plateau and

- their implications for grassland management. *Ecological Research* 21: 246-254.
- Aarti P. D., Tanaka R. & Tanaka A. (2006) Effects of oxidative stress on chlorophyll biosynthesis in cucumber (*Cucumis sativus*) cotyledons. *Physiologia Plantarum* 128: 186-197.
- Tanaka A. & Tanaka R. (2006) Chlorophyll metabolism. *Current Opinion in Plant Biology* 9: 248-255.
- Takahashi H., Watanabe A., Tanaka A., Hashida S., Kawai-Yamada M., Sonoike K. & Uchimiya H. (2006) Chloroplast NAD kinase is essential for energy transduction through the xanthophyll cycle in photosynthesis. *Plant & Cell Physiology* 47: 1678-1682.
- Satoh S. & Tanaka A. (2006) Identification of chlorophyllide a oxygenase in the *Prochlorococcus* genome by a comparative genomic approach. *Plant & Cell Physiology* 47: 1622-1629.
- Kasai T., Suzuki T., Ono K., Ogawa K., Inagaki Y., Ichinose Y., Toyoda K. & Shiraishi T. (2006) Pea extracellular Cu/Zn-superoxide dismutase responsive to signal molecules from a fungal pathogen. *Journal of General Plant Pathology* 72: 2306-2312.
- Tanaka A. (2007) Photosynthetic activity in winter needles of the evergreen tree *Taxus cuspidata* at low temperatures. *Tree Physiology* 27: 641-648.
- Aarti P.D., Tanaka R. & Tanaka A. (2007) High light inhibits chlorophyll biosynthesis at the level of 5-aminolevulinic acid synthesis during deetiolation in cucumber (*Cucumis sativus*) Cotyledons. *Photochemistry and Photobiology* 83: 171-176.
- Nakagawara E., Sakuraba Y., Yamasato A., Tanaka R. & Tanaka A. (2007) Clp protease controls chlorophyll b synthesis by regulating the level of chlorophyllide a oxygenase. *Plant Journal* 49: 800-809.
- Tanaka R. & Tanaka A. (2007) Tetrapyrrole biosynthesis in higher plants. *Annual Review of Plant Biology* 58: 321-346.
- Moharekar S., Moharekar S., Tanaka R., Ogawa K., Tanaka A. & Hara T. (2007) Great promoting effect of extremely high light from germination on flowering in *Arabidopsis thaliana* – a process of photo-acclimation. *Photosynthetica* 42, 259-265.
- Kusaba M., Ito H., Morita R., Iida S., Sato Y., Fujimoto M., Kawasaki S., Tanaka R., Hirochika H., Nishimura M. & Tanaka A. (2007) Rice NON-YELLOW COLORING1 Is Involved in Light-Harvesting Complex II and Grana Degradation during Leaf Senescence. *Plant Cell* 19(4)1362-1375
- Sakuraba Y., Akihiro Yamasato A., Tanaka R. & Tanaka A. (2007) Functional analysis of N-terminal domains of Arabidopsis chlorophyllide a oxygenase. *Plant Physiol Biochem.* in press
- Henmi K. & Ogawa K. (2007) Roles of reactive oxygen species and glutathione in plant development. *The International Journal of Plant Developmental Biology*, in press.
- Hatano-Iwasaki A. & Ogawa K. (2007) Redox metabolism in flowering.

Function Plant Science and Biotechnology. in press.

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

Ogawa K., Hatano-Iwasaki A., Yanagida M. & Henmi K. (2002) The redox-dependent regulation in the bolting and flowering of plants. *Flowering Newslett.* 34: 45-51.

小川健一 (2002) レドックスと植物の生長・生理調節。 *植物の生長調節* 37: 126-138.

小川健一 (2002) 活性酸素で植物が元気に成長する—グルタチオンの新機能。 *化学と生物* 40: 752-756.

田中歩、佐藤壮一郎 (2002) 再現実験から光合成の進化を考える。 *遺伝* 56: 67-72.

田中歩 (2002) 新しい光合成色素の獲得と植物の進化。 *生命誌* 30: 8-10.

田中歩 (2002) クロロフィルの進化。 *21世紀初頭の藻学の現況* 9-11.

宇梶徳史、原登志彦 (2007) エコゲノミクス:ゲノムから生態学的現象に迫る *Expressed sequence tags (EST)から見た樹木の越冬戦略* *日本生態学会誌* 57: 89-99.

Herben T. & Hara T. (2003) Spatial pattern formation in plant communities. *Morphogenesis and Pattern Formation in Biological Systems - Experiments and Models* - (T. Sekimura, S. Noji, N. Ueno & P.K. Maini, Eds), pp. 223-235. Springer-Verlag, Tokyo.

原 登志彦、横沢正幸 (2003)「植物樹幹の形態と種間の共存パターン」(「生物の形の多様性と進化—遺伝子から生態系まで—」第24章、265-272ページ)、裳華房。

Ogawa K. (2003) Glutathione as a plant life cycle regulator. *Research Advances in Biological Chemistry*, Vol. 2, pp.21-29. Global Research Network, Kerala.

Ono K. & Ishimaru K. (2004) Function and regulation of sucrose-phosphate synthase in plants. *Recent Research Developments in Plant Science* 2: 207-217.

小川健一 (2004)レドックス制御を介した植物の代謝ネットワークと生長制御、 *日本農芸化学会誌* 78: 965-969.

小川健一 (2004)レドックス制御と光合成—酸素への電子の流れに秘められた生理的な意義を考える、 *光合成研究会会報* 40:22-26.

柳田元継 (2004)活性酸素は毒ですか? 植物におけるストレスの存在意義、 *つくば生物ジャーナル* Vol.3 No.6.

Ogawa K. (2004) Glutathione as a plant life cycle regulator. *Research Advances in Biological Chemistry* 2, 2003, edited by R.M. Mohan, pp.21-29. Global Research Network, Kerala.

宇梶徳史、原登志彦 (2007) EST からみた樹木の越冬戦略、 *日本生態学会誌* 57:89-99

(3)学会発表(国際学会発表及び主要な国内学会発表)

① 招待講演 (国内会議 26 件、国際会議 19 件)

Hara T.

Growth and competition in *Arabidopsis thaliana* ecotypes, mutants and GMP (genetically modified plants).

Symposium: New Developments in the modelling of plant competition, 18 November 2002, Copenhagen, Denmark.

Hara T.

Competition mode and spatial pattern dynamics in plant communities.

Symposium: New Developments in the modelling of plant competition, 20 November 2002, Copenhagen, Denmark.

Herben T. & Hara T.

Spatial pattern formation in plant communities

International Conference on Morphogenesis and Pattern Formation in Biological Systems - Experiments and Models -, 24 September 2002, Nagoya, Japan.

Minagawa J., Takahashi Y., Ibara D., Hatano-Iwasaki A., Ishii A., Mino H. & Ono T.-A.
Functional analysis of site-directed mutants on the C-terminal Leu-343 and Ala-344 of D1 protein.

10th International Conference on the Cell and Molecular Biology of *Chlamydomonas*, June 2002, Vancouver, Canada.

原 登志彦

寒冷圏における光ストレスと北方林の更新メカニズム

日本植物学会第67回年会企画シンポジウム: スケールをまたがる植物生態科学の展望、2003年9月27日、札幌

Hara T.

Photooxidative stress and forest regeneration

日本植物生理学会第45回年会企画シンポジウム (CREST共催): Redox-governed System and Survival Strategies in Plants、2004年3月27日、東京

Ogawa K.

Glutathione as a regulator of plant life cycle

日本植物生理学会第45回年会企画シンポジウム (CREST共催): Redox-governed System and Survival Strategies in Plants、2004年3月27日、東京

小川健一

レドックス制御を介した植物の代謝ネットワークと生長制御

日本農芸化学会2004年度大会、2004年3月28日-3月31日、広島

小川健一

植物体内でのレドックス制御物質グルタチオンの生立ちと生理機能

日本植物学会67回大会、2003年9月25日-28日、札幌

原 登志彦

カムチャツカにおける植生動態と環境変動、第51回日本生態学会大会企画シンポジウム「北海道からカムチャツカへ」、2004年8月28日、釧路

原 登志彦

北方林の成立・維持機構と環境変動 ―カムチャツカと北海道の森林を中心に―、植物学会北海道支部大会招待講演、2004年9月4日、札幌

原 登志彦

北方林の土地利用と物質循環：北方林の成立・維持機構と環境変動 ―カムチャツカの北方林を中心に―、IGBP-GLP(LAND)第1回国内シンポジウム「統合陸域研究計画に向けたダイアログ形成」、2004年10月12日、札幌

Hara T.

Atmosphere-biosphere-cryosphere interaction in the terrestrial regions around the Sea of Okhotsk. 北海道大学 21世紀 COE・ソウル大学 BK21 合同ワークショップ、2005年2月25日、札幌

Tanaka A.

Chlorophyll metabolism in higher plants: its relation to acclimation and cell death, 13th International Congress of Photosynthesis (Plenary Lecture), 31 August 2004, Montreal, Canada

田中亮一

クロロフィル代謝の異常と葉緑体形成、日本植物学会第68回大会、2004年9月12日、神奈川

Tanaka A.

Evolution of light-harvesting systems, 7th Nordic photosynthesis Congress, 7 November 2004, Turku, Finland

田中 歩

クロロフィル代謝の役割と調節、葉緑体：構築と分解のダイナミクス、2004年11月11日、大阪大学蛋白質研究所

小川健一

Water-Water cycle と Ascorbate-Glutathione cycle: ATP 生産と電子の貯金箱としての意義、日本光合成研究会第4回シンポジウム、2004年5月29日、横浜

小川健一

酸化還元による植物の成長調節におけるグルタチオン機能、近畿大学 第8回学術フロンティアセミナー、2005年3月7日、生駒

Tanaka A.

Regulation of chlorophyll cycle. International Symposium on Chloroplast Bioengineering, 2-7 May 2005, University of Illinois, UI, USA

Tanaka A.

Chlorophyll Synthesis and the Formation of Chlorophyll-Protein Complexes. Gordon Research Conference (Photosynthesis), 6 July 2005, Bryant University, Smithfield, RI, USA

Tanaka A.

Regulation of chlorophyll synthesis. 6th International Conference on Tetrapyrrole Photoreceptors in Photosynthetic Organisms, 11-16 September 2005, Luzern, Switzerland

Tanaka A.

Identification of the Genes for Chlorophyll Synthesis and the Regulation of Chlorophyll b Synthesis Swiss-Japan Workshop “Towards a system view of plastid differentiation and functions”, 7 October 2005, Luzern, Switzerland

田中 歩

クロロフィル代謝の役割、第 39 回 Evolution Workshop、2005 年 5 月 25 日、福山大学

田中 歩

クロロフィル代謝、光合成の色素系と反応中心に関するセミナー XIII、2005 年 6 月 18 日、京都大学

田中 歩

色素代謝研究から見た光合成の課題、光合成研究の役割と今後の展開、2005 年 6 月 24 日、北海道大学

小川健一

植物におけるグルタチオンの存在意義を考える、基礎生物学研究所 第 3 回重点共同利用研究ワークショップ「植物の自己防御と細胞死」、2006 年 3 月 27 日-28 日、岡崎コンファレンスセンター、東岡崎

小川健一

花芽誘導とレドックスシグナリング、平成17年度花き研究所特別セミナー、2005年3月10日、つくば

小川健一

成長と病害応答は 1 つのタンパク質のグルタチオン化を介して光合成によって制御される、第 47 回日本植物生理学会年会、2005 年 3 月 19-21 日、つくば

Ogawa K

Toward improvement of plant growth under drought conditions. Minisymposium among Japan, Korea and China. “Plant Physiological and Biotechnological Studies on Antidesertification in collaboration among Japan, Korea and China”, 21 February 2006, Tottori, Japan.

Ogawa K., Senda K. & Yanagida M.

Induction of PR-1 accumulation in *Arabidopsis* is dependent on glutathione levels but independent of the redox state of glutathione. Symposium “Metabolic Analysis of Plant Signal Molecules” in Pacificchem 2005, 15-20 December 2005, Honolulu, HI

小川健一

植物におけるグルタチオンの機能 — 成長とストレス応答の制御、鳥取大学農学部セミナー、2005年11月11日、鳥取

Ogawa K.

Glutathione in plants, beyond an antioxidant. Plant Genetics Seminar. Institute of Plant Sciences, ETH Zürich, 10 October 2005, Zürich, Switzerland.

Ogawa K.

The glutathione-dependent redox regulation in chloroplasts. Swiss-Japan

workshop "Towards a system view of plastid differentiation and functions", 5-8 October 2005, Lucern, Switzerland.

小川健一

チオレドキシシンとグルタチオンによるタンパク質の機能制御のクロストーク、第 14 回関西光合成研究会、2005 年 7 月 16 日、京都

小川健一

植物におけるグルタチオン—単なる抗酸化物質を超えた機能、遺伝子実験センターセミナー、2005 年 6 月 23 日、つくば

小川健一

レドックス代謝と成長・生理制御、かずさ DNA 研究所セミナー、2005 年 6 月 8 日、木更津

Tanaka A.

Identification of the protease which is involved in the stability of chlorophyll b synthesis enzyme. 3rd Symposium "Signal Sensing and Plant Primary Metabolism", 26-29 April 2006, Potsdam, Germany

小川健一

植物におけるグルタチオン—単なる抗酸化物質を超えた機能、山口大学農学部セミナー、2006 年 7 月 8 日、山口

小川健一

モデル植物から植物の共通原理をつかむ—酸化還元制御から見た普遍性とその制御の農産業への応用、第 5 回 NDS セミナー、2006 年 9 月 13 日、博多

Tanaka R. & Tanaka, A.

Isolation of Arabidopsis mutants that have defects in pigment metabolism during leaf senescence by an HPLC-based screening method. Japanese-Finnish Seminar 2006 "Molecular mechanisms for regulation of photosynthetic organisms under stressed conditions", 30 October 2006, Nara, Japan

Tanaka A.

Regulation of chlorophyll biosynthesis in Arabidopsis. "The 3rd Asian and Oceania Conference on Photobiology", 17-20 November 2006, Beijing, China

Hara T.

Present and future of terrestrial ecosystem models: Modelling climate-vegetation interactions. Japan-Australia Joint Symposium on Earth System Science and Nanomaterial, 21 November 2006, Canberra, Australia

小川健一

レドックスによる植物の生長・生理制御、第 3 回ダイズ研究会、2006 年 12 月 15-16 日、府中

小川健一

グルタチオンの合成場所はなぜ葉緑体になったのだろうか？、東北大学農学部セミナー、2007 年 1 月 24 日、仙台

② 口頭発表

(国内会議 81 件、国際会議 22 件)

鯨岡啓輔、原登志彦、隅田明洋、小野清美、秋林幸男、植村滋:北海道におけるダケカンバのフロムトリーとその季節変化、2002年度(平成14年度)日本生態学会北海道地区大会、2002年12月14日、札幌

田中歩、田中亮一:光化学系集光装置の光馴化とその役割、日本植物生理学会 2003 年度年会、2003 年 3 月 28 日、奈良

田中亮一、平島真澄、田中歩:高等植物の光馴化メカニズムにおけるクロロフィリド a オキシゲナーゼの役割、日本植物生理学会 2003 年度年会、2003 年 3 月 29 日、奈良

山里明弘、永田望、田中亮一、田中歩:GFPを用いたクロロフィリド a オキシゲナーゼの葉緑体内における局在の解析、日本植物生理学会 2003 年度年会、2003 年 3 月 29 日、奈良

小川健一、柳田元継、岩渕雅樹:リノレン酸はシロイヌナズナの花成の抑制因子である、日本農芸化学会大会、2003 年 3 月 31-4 月 3 日、藤沢

裏地 美杉、小川 健一、西川 正信:真菌によるポリアルギニルヒスチジンの生産条件の検討、日本農芸化学会大会、2003 年 3 月 31-4 月 3 日、藤沢

岩崎(葉田野)郁、岩渕雅樹、小川健一:グルタチオンが関与する光強度依存的な花成の促進経路の解析、日本植物生理学会 2003 年度年会、2003 年 3 月 27-29 日、大阪

小川健一、柳田元継、岩渕雅樹:高度不飽和脂肪酸の関与するシロイヌナズナの花成制御、日本植物生理学会 2003 年度年会、2003 年 3 月 27-29 日、大阪

逸見健司、出村拓、福田裕穂、岩渕雅樹、小川健一:グルタチオンレドックス制御による根の分化、日本植物生理学会 2003 年度年会、2003 年 3 月 27-29 日、大阪

黒田希、岩渕雅樹、小川健一:根毛形成におけるグルタチオンの役割、日本植物生理学 2003 年度年会、2003 年 3 月 27-29 日、大阪

柳田元継、岩渕雅樹、小川健一:シロイヌナズナにおいて春化処理はシステインとグルタチオン合成を同時に活性化し抽だいを誘導する、日本植物生理学会 2003 年度年会、2003 年 3 月 27-29 日、大阪

伊藤寿、岩渕雅樹、小川健一:グルタチオン結合タンパク質の解析、日本植物生理学会 2003 年度年会、2003 年 3 月 27-29 日、大阪

仙田香織、岩渕雅樹、小川健一:シロイヌナズナにおける PR-1 発現へのグルタチオンの関与、日本植物生理学会 2003 年度年会、2003 年 3 月 27-29 日、大阪

三野真布、前川賢司、小川健一、三坂裕子、井上雅好:タバコ種間雑種致死過程における活性酸素の動態、日本植物生理学会 2003 年度年会、2003 年 3 月 27-29 日、大阪

逸見健司、出村拓、福田裕穂、岩渕雅樹、小川健一:グルタチオンレドックス制御による根の分化、日本分子生物学会第 25 回(2002 年度)年会、2002 年 12 月 11-14 日、横浜

小川健一、柳田元継、岩崎(葉田野)郁、逸見健司、岩渕雅樹:低温ストレスによる抽だいの促進にはグルタチオンが必要である、日本植物学会第66回大会、2002年9月20-23日、京都

岩崎(葉田野)郁、岩渕雅樹、小川健一:光合成によるグルタチオン合成が花成に与える影響、日

本植物学会第66回大会、2002年9月20-23日、京都

Watanabe M., Henmi K, Ogawa K. & Suzuki T.: Comparison of cellular response of plant and animal model cells to intracellular reactive oxygen species and free radicals generated by cadmium chloride exposure to a unicellular eukaryote *Euglena gracilis* Z and SMZ, XIth Biennial Meeting of the International Society for Free Radical Research, 16-20 July 2002, Paris, France

Watanabe M., Henmi K, Ogawa K. & Suzuki T.: Inorganic cadmium-induced morphological alteration in strains of *Euglena gracilis* is linked to reactive oxygen stress and free radicals, XIth Biennial Meeting of the International Society for Free Radical Research, 16-20 July 2002, Paris, France

小川健一、柳田元継、岩崎(葉田野)郁、岩渕雅樹:グルタチオンによる花成の制御、第20回日本植物細胞分子生物学会、2002年7月29日-30日、奈良

柳田元継、岩崎(葉田野)郁、岩渕雅樹、小川健一:環境ストレスによる花成の制御 第2回日本光合成研究会シンポジウム、2002年5月31日-6月1日、岡崎

Aarti Dephe、田中亮一、田中歩: Effects of oxygen stresses on chlorophyll biosynthesis in cucumber cotyledons、日本植物学会第67回大会、2003年9月26日、札幌

田中 歩: 光合成の進化の実験的検証、日本進化学会第5回大会、2003年8月3日、福岡

Tanaka A. & Tanaka R.: Acclimation of photosynthetic light-harvesting systems to light intensity, Swiss-Japan joint seminar, 1 October 2003, Kurashiki, Japan

田中亮一、田中歩: 老化における色素代謝異常の変異体のスクリーニング、植物生理学会第45回大会、2004年3月29日、東京

田中亮一、田中歩: クロロフィル代謝の制御と植物の発育、植物生理学会第45回大会、2004年3月29日、東京

Tanaka A. : Evolution of photosynthetic pigment systems, 14th International Congress on Photobiology, 13 June 2004, Jeju, Korea

Tanaka R. : Light-dependent and -independent cell death caused by accumulation of pheophorbide a in transgenic *Arabidopsis* plants expressing antisense RNA for pheophorbide a oxygenase, Gordon Research Conference, 1 July 2004, Mount Holyoke College, MA, USA

永田望、佐藤壮一郎、田中亮一、田中歩: 触媒活性に関わる緑色植物と原核緑藻プロクロロトックスのクロロフィルドaオキシゲナーゼのドメイン構造、第4回クラミドモナスワークショップ、2003年9月5日、札幌

永田望、田中亮一、田中歩: ジビニルクロロフィルを蓄積するシロイヌナズナ変異株の解析、植物生理学会第45回大会、2004年3月29日、東京

平島真澄、田中亮一、佐藤壮一郎、田中歩: シロイヌナズナ Accelerated Cell Death 1(ACD1)はフェオフォルビドaオキシゲナーゼをコードしている、植物生理学会第45回大会、2004年3月29日、東京

佐藤壯一郎、平島真澄、田中亮一、田中歩:クロロフィルのタンパク質への分配と色素タンパク質の可塑性、植物生理学会第45回大会、2004年3月29日、東京

Minagawa J., Seguchi T., Kanno A., Hayakawa S. : Structural changes of LHCII upon exposure to high light and effects of CP29 knockout, 11th International conference on the cell and molecular biology of *Chlamydomonas*, 2003, Kobe, Japan

山里明弘、永田望、田中亮一、田中歩:葉緑体内におけるクロロフィルdαオキシゲナーゼの蓄積量についての解析、日本植物学会第67回大会、2003年9月26日、札幌

瀬口武史、早川尚吾、皆川純:光化学系IIアンテナの強光適応様式、第4回クラミドモナスワークショップ、2003年9月5日、札幌

伊藤寿、岩渕雅樹、小川健一:Translationally Controlled Tumor Protein相同タンパク質へのグルタチオンの結合、日本植物生理学会2004年度年会、2004年3月27-29日、東京

潮見直織美、逸見健司、河瀬朋華、矢崎潤史、岸本直己、菊池尚志、岩渕雅樹、小川健一:過酸化水素で誘導されるグルタチオンS-トランスフェラーゼの機能解析、日本植物生理学会2004年度年会、2004年3月27-29日、東京

三野真布、安倍真、鈴木徹、横山英史、上中弘典、小川健一、森田重人、増村威宏、田中國介、井上雅好:過酸化水素はタバコ種間雑種致死での致死シグナルとして作用する、日本植物生理学会2004年度年会、2004年3月27-29日、東京

三坂裕子、小川健一、井上雅好、三野真布:過酸化水素はタバコ種間雑種培養細胞の致死発現を誘導する、日本植物生理学会2004年度年会、2004年3月27-29日、東京

柳田元継、三野真布、岩渕雅樹、小川健一:ロゼット植物トルコギキョウの春化により誘導される抽だいは還元型グルタチオンにより特異的に制御される、日本植物生理学会2004年度年会、2004年3月27-29日、東京

松本雅好、伊藤寿、逸見健司、杉本育代、岩渕雅樹、小川健一:グルタチオンによるシロイヌナズナ葉緑体型アルドラーゼのレドックス制御、日本植物生理学会2004年度年会、2004年3月27-29日、東京

逸見健司、岩渕雅樹、小川健一:グルタチオンレドックス制御による根の形成、日本植物生理学会2004年度年会、2004年3月27-29日、東京

Ogawa K., Yanagida M., Hatanaka T., Henmi K. : Glutathione as a Regulator of Plant Life Cycle, Keystone Symposia "Plant Responses to Abiotic Stress" (C2), 19-24 February 2004, Santa Fe, USA.

Ogawa K., Yanagida M., Kuroda N., Iwabuchi M. : Linolenic acid is a suppressor of flowering in *Arabidopsis thaliana*, The 76th annual meeting of the Japanese Biochemical Society, 15-18 October 2003, Yokohama

Kotani Y. "knight", Hatanaka T., Ogawa K., Moriyama Y., Tsuboi S. : The redox regulation of serotonin N-acetyltransferase by -SH/-S-S- exchange, The 76th annual meeting of the Japanese Biochemical Society, 15-18 October 2003, Yokohama

岩崎(葉田野)郁、岩渕雅樹、小川健一:光強度依存的な花成におけるグルタチオンの標的因子の解析、日本植物学会67回大会、2003年9月25日-28日、札幌

伊藤寿、小川健一:グルタチオンによるトリオースリン酸イソメラーゼの活性調節、日本植物学会67回大会、2003年9月25日-28日、札幌

西川正信、小川健一:生物由来で初めて見出されたD-ヒスチジンについて、日本生物工学会平成15年度大会、2003年9月16日-18日、熊本

Ogawa K., Hatano-Iwasaki A., Iwabuchi M. : Glutathione biosynthesis dependent on light harvesting in photosystem II positively regulates transition to flowering in *Arabidopsis thaliana*, Plant Biology 2003, 26-30 July 2003, Honolulu, USA

Kuroda N., Iwabuchi M., Ogawa K. : Glutathione positively regulates root hair formation in *Arabidopsis thaliana*, Plant Biology 2003, 26-30 July 2003, Honolulu, USA

Yanagida M., Mino M., Iwabuchi M., Ogawa K. : Upregulation of glutathione biosynthesis promotes bolting and senescence of rosette plant *Eustoma grandiflorum*, Plant Biology 2003, 26-30 July 2003, Honolulu, USA

Hatano-Iwasaki A., Iwabuchi M., Ogawa K. : Regulation of the light-intensity-dependent promotion of flowering by glutathione in *Arabidopsis thaliana*, Plant Biology 2003, 26-30 July 2003, Honolulu, USA

Henmi K., Iwabuchi M., Ogawa K. : Phenotypes of *Arabidopsis thaliana* with altered glutathione metabolism, Plant Biology 2003, 26-30 July, 2003, Honolulu, USA

小川健一、柳田元継、岩渕雅樹:活性酸素による花成制御系における不飽和脂肪酸の役割
日本生化学会・中四国支部会例会、2003年5月17日、岡山

Ogawa K., Henmi K., Senda K., Yanagida M., Hatano-Iwasaki A., Ito H., Kuroda N., Iwabuchi M. : Glutathione determines plant cell fate: to be or not to be, Keystone Symposium on Plant Biology: Functions and Control of Cell Death, 10-15 April 2003, Snowbird Resort, Snowbird, Utah, USA

小川健一、柳田元継、岩渕雅樹:リノレン酸はシロイヌナズナの花成の抑制因子である
日本農芸化学会2003年度大会、2003年3月31日-4月3日、藤沢

裏地美杉、小川健一、西川正信:真菌によるポリアルギニルヒスチジンの生産条件の検討
日本農芸化学会2003年度大会、2003年3月31日-4月3日、藤沢

加藤京子、隅田明洋、吉田俊也、秋林幸男、原登志彦:北海道北部における針広混交林の林分構造と光環境、林学会北海道支部大会、2004年11月1日、札幌

Tanaka A.: Chlorophyll metabolism in higher plants: its relation to acclimation and cell death, 13th International Congress of Photosynthesis (Plenary Lecture), 31 August 2004, Montreal, Canada

田中亮一、田中歩:クロロフィル代謝の異常と葉緑体形成、日本植物学会第68回大会、2004年9月10-11日、神奈川

Tanaka A.: Evolution of light-harvesting systems, 7th Nordic photosynthesis Congress, 7 November 2004, Turku, Finland

永田望、田中亮一、佐藤壮一郎、田中歩:クロロフィル合成酵素 8-ビニルレダクターゼ遺伝子の同定と機能解析、植物生理学会第 46 回大会、2005 年 3 月 25-26 日、新潟

平島真澄、田中亮一、田中歩:フェオフォルビド *a* の蓄積により誘導される細胞死について、植物生理学会第 46 回大会、2005 年 3 月 25-26 日、新潟

岩井優和、皆川純:PSII-LHCII 超複合体の精製と光環境、植物生理学会第 46 回大会、2005 年 3 月 26 日、新潟

西川正信、小川健一:ポリリジン生産菌によるポリリジンアルコールエステルの生合成、日本農芸化学 2005 年度大会、2005 年 3 月 28-30 日、札幌

潮見直織美、逸見健司、小川健一:シロイヌナズナの根におけるグルタチオン S-トランスフェラーゼを介した重力屈性、第 46 回日本植物生理学会年会、2005 年 3 月 24-26 日、新潟

松本雅好、伊藤寿、逸見健司、杉本育代、小川健一:シロイヌナズナ葉緑体型アルドラーゼのグルタチオンによるレドックス制御、第 46 回日本植物生理学会年会、2005 年 3 月 24-26 日、新潟

保浦徳昇、岩渕雅樹、小川健一:シロイヌナズナの種子発芽時に生成される活性酸素の役割について、第 46 回日本植物生理学会年会、2005 年 3 月 24-26 日、新潟

柳田元継、小川健一:ロゼット植物トルコギキョウの老化におけるグルタチオンの矛盾した作用、第 46 回日本植物生理学会年会、2005 年 3 月 24-26 日、新潟

逸見健司、岩渕雅樹、小川健一:根の形成はグルタチオンレダクターゼを介したグルタチオンのレドックス状態によって制御される、第 46 回日本植物生理学会年会、2005 年 3 月 24-26 日、新潟

西川正信、小川健一:ポリリジン発酵中に見出されたポリリジングリセロールエステルについて、日本生物工学会平成 16 年度大会、2004 年 9 月 21-23 日、名古屋

柳田 元継、潮見 直織美、仙田 香織、逸見 健司、小川 健一: グルタチオンによる老化および細胞死の促進、日本植物学会第 68 回大会、2004 年 9 月 10-12 日、藤沢

Ogawa K., Matsumoto M., & Ito H: Fructose-1,6-bisphosphate aldolase is a target protein of glutathionylation in Arabidopsis chloroplasts. The 13th International Congress on Photosynthesis, 28 August- 3 September 2004, Montreal, Canada

仙田香織、柳田元継、潮見直織美、逸見健司、小川健一: シロイヌナズナ *lsd1* 変異体の細胞死に伴う PR-1 タンパク質の蓄積はグルタチオンのレドックス状態でなく、グルタチオンの内生量で制御される、第 22 回日本植物細胞分子生物学会、2004 年 8 月 9-10 日、秋田

小川健一:Water-Water cycle と Ascorbate-Glutathione cycle: ATP 生産と電子の貯金箱としての意義、日本光合成研究会第 4 回シンポジウム、2004 年 5 月 28 日-29 日、横浜

宇梶徳史、原登志彦: 常緑針葉樹は冬季の光ストレス回避に多くの労力を費やしている、第 47 回日本植物生理学会年会、2006 年 3 月 19 日、つくば

宇梶徳史: EST 解析から見た樹木の越冬戦略ー光と温度:植物寒冷環境適応機構への新提案ー、第 53 回日本生態学会大会、2006 年 3 月 27 日、新潟

永田望、田中亮一、田中歩: クロロフィル合成酵素 8-ビニルレダクターゼの基質特異性とクロロフィル合成経路に関する研究、第 47 回日本植物生理学会年会、2006 年 3 月 19-21 日筑波大学

櫻庭康仁、山里明弘、中川原永基、田中亮一、田中歩: クロロフィリド a オキシゲナーゼの蓄積制御機構のドメイン機能解析、第 47 回日本植物生理学会年会、2006 年 3 月 19-21 日、筑波大学

長根智洋、永田望、田中亮一、平島真澄、田中歩: 7-ヒドロキシメチルクロロフィル a を蓄積するシロイヌナズナ変異体の解析、第 47 回日本植物生理学会年会、2006 年 3 月 19-21 日、筑波大学

草場信、森田竜平、飯田修一、田中亮一、田中歩、西村実: イネ stay green 突然変異体 nyc1 の解析、第 47 回日本植物生理学会年会、2006 年 3 月 19-21 日、筑波大学

Aarti Dhepe, Ryouichi Tanaka, Ayumi Tanaka: Effects of high light stress on chlorophyll biosynthesis pathway. 第 47 回日本植物生理学会年会、2006 年 3 月 19-21 日、筑波大学

逸見健司、岩渕雅樹、小川健一: チロシンフォスファターゼ AtPTP1 はシロイヌナズナの生長を抑制的に制御する、第 47 回日本植物生理学会年会、2005 年 3 月 19-21 日、つくば

潮見直織美、逸見健司、小川健一: シロイヌナズナの根における重力屈性は、グルタチオン S-トランスフェラーゼを介するグルタチオン依存的な反応で制御される、第 47 回日本植物生理学会年会、2005 年 3 月 19-21 日、つくば

松本雅好、伊藤寿、逸見健司、杉本育代、小川健一: シロイヌナズナ葉緑体型アルドラーゼのグルタチオン化による活性制御、第 47 回日本植物生理学会年会、2005 年 3 月 19-21 日、つくば

保浦徳昇、岩渕雅樹、小川健一: 種子発芽時に生成される活性酸素とジベレリン合成に関わる遺伝子発現の関係について、第 47 回日本植物生理学会年会、2005 年 3 月 19-21 日、つくば。

逸見健司、小川健一: 道管形成のためのグルタチオンのレドックス状態の変化はグルタチオンレダクターゼ遺伝子の発現制御を介して制御される、日本植物学会第 69 回大会、2005 年 9 月 21-23 日、富山

松本雅好、小川健一: シロイヌナズナのプラスチド型アルドラーゼアイソザイムのレドックス制御に関する異なる特性、第 23 回日本植物細胞分子生物学会大会・シンポジウム、2005 年 8 月 5-6 日、京都

Ogawa K., Matsumoto M., Ito H. & Henmi K : The physiological role of glutathionylation of plastidic fructose-1,6-bisphosphate aldolase in *Arabidopsis thaliana*. Minisymposium "Photosynthesis II" in Plant Biology, 16-20 July 2005, Seattle, USA

Ogawa K : The physiological role of glutathionylation of plastidic fructose-1,6-bisphosphate aldolase in *Arabidopsis thaliana*. 6th International Workshop on Plant Sulfur Metabolism, 16-21 May 2005, Kazusa, Japan

Ogawa K : The physiological role of glutathionylation of plastidic fructose-1,6-bisphosphate aldolase in *Arabidopsis thaliana*. First symposium on chloroplast engineering, 2-7 May 2005, Illinois, USA

Ogawa K., Matsumoto M., Henmi K.: Plant growth and pathogen-related response are regulated by photosynthesis via glutathionylation of a single protein. The 3rd International Symposium "Signals, Sensing and Plant Primary Metabolism", 26-29 April 2006, Posdam, Germany

松本雅好、白石友紀、小川健一:グルタチオンはひとつのタンパク質と結合することで成長と病害応答を制御する、生化学会中国四国支部例会、2006年5月12-13日、松江

柳田元継、逸見健司、岩崎(葉田野)郁、小川健一:光強度および春化によるグルタチオンを介した花成制御、日本フリーラジカル学会学術集会、2006年5月13-14日、津

田中歩:全ゲノム配列を用いた原核型光合成生物の色素合成遺伝子の同定と系統解析、第14回光合成の色素系と反応中心に関するセミナー、2006年6月23-25日、京都

田中歩、佐藤壮一郎:光合成細胞の進化と細胞内共生、日本進化学会2006年度大会、2006年8月31日、東京

松本 雅好、伊藤 寿、逸見 健司、小川 健一:シロイヌナズナ葉緑体におけるフルクトースービスリン酸アルドラーゼアイソザイムのグルタチオンとチオレドキシシンによる特異的制御、第70回日本植物学会大会、2006年9月14-16日、熊本

保浦 徳昇、岩淵 雅樹、小川健一:シロイヌナズナにおいて活性酸素はジベレリン合成遺伝子の発現を誘導し発芽を促進する、第70回日本植物学会大会、2006年9月14-16日、熊本

Ukaji N. & Hara T.: Why do green leaves in trees disappear in winter? Iwate Plant Science Symposium 2006, 18 October 2006, Morioka, Japan

兼松慧、櫻庭康仁、田中亮一、田中歩:4クロロフィリドaオキシゲナーゼの局在および分解機構の解析、第48回日本植物生理学会年会、2007年3月28-30日、松山

櫻庭康仁、田中亮一、田中歩:クロロフィリドaオキシゲナーゼの蓄積制御機構のドメイン機能解析、第48回日本植物生理学会年会、2007年3月28-30日、松山

堀江裕紀子、長根智洋、伊藤寿、草場信、田中亮一、田中歩:シロイヌナズナのクロロフィルb還元酵素遺伝子(NYC1)変異体の解析、第48回日本植物生理学会年会、2007年3月28-30日、松山

逸見健司、岩淵雅樹、小川健一:チロシンフォスファターゼAtPTP1は種子発芽においてアブシジン酸のシグナル伝達系に関与する、第48回日本植物生理学会年会、2007年3月28-30日、松山

岩崎(葉田野)郁、内山和子、小野清美、渡辺一郎、八坂通泰、来田和人、原登志彦、小川健一:北方林樹木グイマツにおけるLEAFY相同遺伝子の機能解析、第48回日本植物生理学会年会、2007年3月28-30日、松山

③ ポスター発表 (国内会議 56 件、国際会議 33 件)

Watanabe T., Yokozawa M., Emori S., Takata K., Sumida A. & Hara T.: Multilayered integrated numerical model of surface physics – growing plants interaction, MINoSGI., Symposium “Biosphere-Atmosphere Interactions” in the VIII INTECOL, International Congress of Ecology, 14 August 2002, Seoul, Korea.

小野清美、田畑あずさ、鯨岡啓輔、加藤京子、隅田明洋、植村滋、原登志彦:ダケカンバ林冠葉の光合成活性などの季節変化－林床のササ除去区と非除去区の比較、第50回日本生態学会大会、2003年3月22日、つくば

加藤京子、植村滋、原登志彦:イタヤカエデとミズナラの実生の生育特性、第50回日本生態学会大会、2003年3月20日、つくば

本間航介、金子洋平、北村系子、高橋耕一、石井弘明、Valentina P. Vetrova, Marina Vyatkina、奥田将己、Jiri Drezal、隅田明洋、原登志彦:カムチャツカ半島針広混交林における山火事後の実生定着過程、第50回日本生態学会大会、2003年3月22日、つくば

西川正信、小川健一:抗菌性を有する新規ポリアミノ酸、平成14年度日本生物工学会大会、2002年10月28－30日、大阪

Moharekar S., Moharekar S., Tanaka R., Ogawa K., Tanaka A. & Hara T.: Effects of low to high light intensities on *Arabidopsis thaliana* growth and flowering, International Symposium: Diversity of Reproductive Systems in Plants: Ecology, Evolution and Conservation, 16 October 2003, Sapporo, Japan

Ono K.: Leaf senescence under different carbon and nitrogen availability, Plant Biology 2003, 26-30 July 2003, Honolulu, USA

宇梶徳史、原登志彦:強光・低温により発現するイチイ(*Taxus cuspidata*)遺伝子の網羅的同定、第45回日本植物生理学会年会、2004年3月27日、東京

小野清美、江藤典子、原登志彦:生育環境がミズナラの葉の老化に与える影響、第45回日本植物生理学会年会、2004年3月27日、東京

津田元、小野清美、原登志彦:当年生ミズナラ実生の光ストレスに対する適応、第45回日本植物生理学会年会、2004年3月28日、東京

倉田裕介、田中亮一、澤進一郎、田中歩:シロイヌナズナのクロロフィル *b*欠損変異体 *chlorina5* の原因遺伝子は新規の葉緑体Znプロテアーゼをコードしている、植物生理学会第45回大会、2004年3月27日、東京

Sato S. & Tanaka A.: The effect of chlorophyll b on the formation of photosystem I trimer in cyanobacteria, International Symposium on Phototrophic Prokaryotes, August 2003, Tokyo, Japan

瀬口武史、早川尚吾、皆川純:緑藻クラミドモナスLHC IIの強光条件における構造変化、植物生理学会第45回大会、2004年3月29日、東京

菅野歩、瀬口武史、皆川純:RNAiによるCP29の発現抑制とその効果、植物生理学会第45回大会、2004年3月29日、東京

Yamasato A., Nagata N., Tanaka R., Tanaka A. : Localization of chlorophyllide a oxygenase (CAO) in chloroplasts, Plant Biology 2003, 26-30 July 2003, Honolulu, USA

Seguchi T., Hayakawa S., Minagawa J.: Structure of light-harvesting complex II upon high light acclimation, 11th International conference on the cell and molecular biology of *Chlamydomonas*, 2004, Kobe, Japan

小野清美、江藤典子、原登志彦:生育温度・光・窒素供給がミズナラの葉の老化過程に与える影響、第 51 回日本生態学会、釧路、2004 年 8 月 26 日

小野清美、原登志彦:生育温度・光・窒素供給がミズナラの葉の老化過程に与える影響2 第 52 回日本生態学会、大阪、2005 年 3 月 29 日

田畑あずさ、小野清美、隅田明洋、原登志彦:寒冷圏におけるダケカンバの光合成機能の環境ストレスに対する応答(2)、第 51 回日本生態学会、釧路、2004 年 8 月 26 日

津田元、小野清美、原登志彦:低温と強光ストレスが当年生ミズナラ実生に与える影響、第 51 回日本生態学会、釧路、2004 年 8 月 26 日

田畑あずさ、小野清美、隅田明洋、原登志彦:ダケカンバの光合成機能に及ぼす乾燥ストレスの影響、第 52 回日本生態学会、大阪、2005 年 3 月 29 日

大久保研蔵、江藤典子、小野清美、原登志彦:AFLP 法を用いたキレハイスガラシのクローン構造の解析、第 52 回日本生態学会、大阪、2005 年 3 月 30 日

飯村佳代、本間航介、奥田将己、V. Vetrova, M. Vyatkina、隅田明洋、原登志彦:カムチャッカ半島における *Betula platyphylla* と *Larix cajanderi* の更新様式、第 51 回日本生態学会大会、釧路、2004 年 8 月 27 日

本間航介、金子洋平、奥田将己、北村系子、飯村佳代、V. Vetrova, M. Vyatkina、原登志彦:カムチャッカ半島中央低地帯における針広混交林の更新動態、第 52 回日本生態学会、大阪、2005 年 3 月 29 日

宇梶徳史、原登志彦:網羅的遺伝子解析を用いた光ストレスによる寒冷圏樹木の生活環制御機構の解明、第 52 回日本生態学会、大阪、2005 年 3 月 29 日

Kanno A., Minagawa J.: CP29 is required for repair of Photosystem II in *Chlamydomonas reinhardtii*, 13th International Photosynthesis Congress, Montreal, Canada, 2004

Iwai M.: Nonphotochemical Quenching Is Induced Differently under High-light and Low-Ci Condition in *Chlamydomonas reinhardtii*, 13th International Photosynthesis Congress, Montreal, Canada, 2 September 2004

平島真澄、田中亮一、佐藤壮一郎、田中歩:クロロフィル分解の中間代謝物、フェオフォルビド *a* が引き起こす細胞死の解析、葉緑体:構築と分解のダイナミクス、大阪大学蛋白質研究所セミナー、2004 年 11 月 11~12 日、吹田

永田望、田中亮一、佐藤壮一郎、田中歩:クロロフィル合成酵素 8-ビニルレダクターゼ遺伝子の同定と機能解析、葉緑体:構築と分解のダイナミクス、大阪大学蛋白質研究所セミナー、2004 年 11

月 11-12 日、吹田

山里明弘、田中亮一、田中歩:葉緑体におけるクロロフィド a オキシゲナーゼの A ドメインによる蓄積量制御の解析、植物生理学会第 46 回大会、2005 年 3 月 25-26 日、新潟

田中亮一、澤進一郎、小保方潤一、田中歩:色素合成およびプラスチドの形態に異常のあるシロイヌナズナ *chlorina5* 変異体の解析、植物生理学会第 46 回大会、2005 年 3 月 25-26 日、新潟

瀬口武史、高橋祐子、高橋裕一郎、岩井優和、皆川純:マイナーLHCII が結合する巨大複合体、植物生理学会第 46 回大会、2005 年 3 月 25-26 日、新潟

Ono K. & Hara T.: Effects of plant growth and photo-oxidative stress on leaf senescence of *Quercus crispula*. XVII International Botanical Congress, July 2005, Vienna, Austria

Tabata A., Ono K., Sumida A., Laska K., Hara T.: Photosynthetic responses of *Betula ermanii* to environmental stress, September 2005, Czech Republic

Moharekar S., Moharekar S., Ono K., Sumida A., Hara T.: Changes in PSII activity, xanthophyll cycle and antioxidant system of *Taxus cuspidata* during high light and low temperature stress and recovery, The XXII Congress of The Scandinavian Plant Physiology Society, 16-19 June 2005, Umeå, Sweden

Moharekar S., Moharekar S., Ono K., Sumida A., Hara T.: Changes in PSII activity, xanthophyll cycle, antioxidant system and chlorophyll biosynthesis of *Taxus cuspidata* under high light and low or moderate temperature conditions during different growing seasons, CREST symposium, 2005 年 9 月 27 日、東京

Ono K., Moharekar (Lokhande) S., Etoh N., Uchiyama K., Watanabe I. and Hara T.: The difference of the deciduous tree and the evergreen in the northern forest, CREST symposium, 2005 年 9 月 27 日、東京

Moharekar S., Moharekar S., Ono K., Sumida A., Hara T.: Changes in PSII activity, xanthophyll cycle and antioxidant system of *Taxus cuspidata* during high light and low temperature stress and recovery, CREST symposium, 2005 年 9 月 27 日、東京

小野清美、原登志彦: 当年生ミズナラ実生の生育条件による葉の老化過程の違い、第 47 回日本植物生理学会年会、2006 年 3 月 20 日、つくば

岩崎(葉多野)郁、小野清美、杉本貢一、柳田元継、内山和子、渡辺一郎、来田和人、小川健一、原登志彦: 北方林樹木グイマツにおける花芽形成に關与する気象要因と遺伝子発現、第 53 回日本生態学会大会、2006 年 3 月 25 日、新潟

小野清美、江藤典子、内山和子、渡辺一郎、来田和人、原登志彦: 北方林における落葉樹の葉の色素量・窒素量・酵素活性の季節変化、第 53 回 日本生態学会大会、2006 年 3 月 25 日、新潟

兒玉なつ美、柳田元継、小川健一: シロイヌナズナの花成制御因子に關与するリノレン酸は花成決定因子 APETALA1 (AP1) 遺伝子の機能を直接制御するのか? 第 47 回日本植物生理学会年会、2005 年 3 月 19-21 日、つくば

佐藤壮一郎、田中歩： 全ゲノム配列を用いた分子系統解析法の開発と原核光合成生物への応用、第47回日本植物生理学会年会、2006年3月19-21日、つくば

中川原永基、山里明弘、田中亮一、田中歩： クロロフィッド a オキシゲナーゼの蓄積制御機構に異常のある変異株の解析、第47回日本植物生理学会年会、2006年3月19-21日、つくば

平島真澄、田中亮一、田中歩： フェオフォルビド a の蓄積が誘導する光非依存的な細胞死、第47回日本植物生理学会年会、2006年3月19-21日、つくば

保浦徳昇、岩淵雅樹、小川健一： シロイヌナズナの種子発芽を促進する活性酸素の作用機構について、日本分子生物学会第28回大会、2005年12月7-10日、福岡

逸見健司、伊藤寿、岩淵雅樹、小川健一： チロシンフォスファターゼ AtPTP1 はシロイヌナズナの生長を抑制的に制御する、日本分子生物学会 2005 年年会、2005 年 12 月 7-10 日、福岡

原登志彦、田中歩、小川健一： 寒冷圏における光ストレスと北方林の再生・維持機構、CREST 第3回公開シンポジウム、2005年9月27日、東京

柳田元継、逸見健司、岩崎(葉田野)郁、小川健一： 光強度および春化によるグルタチオンを介した花成制御、CREST 第3回公開シンポジウム、2005年9月27日、東京

小川健一、柳田元継、兒玉なつ美： 低温および光照度によるリノレン酸を介した花成制御、CREST 第3回公開シンポジウム、2005年9月27日、東京

岩崎(葉田野)郁、小野清美、杉本貢一、柳田元継、内山和子、渡辺一郎、来田和人、小川健一、原登志彦： 北方林樹木グイマツにおける花芽形成に関与する遺伝子の発現解析、CREST 第3回公開シンポジウム、2005年9月27日、東京

Matsumoto M., Ito H., Henmi K. & Ogawa K.: The physiological role of glutathionylation of plastidic fructose-1,6-bisphosphate aldolase in *Arabidopsis thaliana*. Photosynthesis (carbon) in Plant Biology 2005, 16-20 July 2005, Seattle, USA

Matsumoto M. & Ogawa K.: The glutathione-dependent regulation of plastidic fructose-1,6-bisphosphate aldolase in *Arabidopsis thaliana*. 16th International conference on Arabidopsis Research, 15-19 June 2005, University of Wisconsin, Madison, WI.

Yanagida M. & Ogawa K.: A paradoxical action of reduced glutathione on the senescence of the rosette plant *Eustoma grandiflorum*. The 3rd International Symposium on Micronutrients and Natural Antioxidants: Molecular biological mechanisms and health (ISMNA) and the 2nd Meeting of the Society for Free Radical Research, Asia (SFRR, Asia), 24-28 June 2005, Shanghai, China

宇梶徳史、原登志彦：常緑針葉樹の冬季光ストレスに対する適応機構、第6回日本光合成研究会シンポジウム、2006年5月26-27日、東京

Moharekar S., Moharekar S., Ono K., Uchiyama K., Sumida A., Tanaka A., Hara T., : Effect of seasonal variations in temperature on pigment composition and chlorophyll biosynthesis of *Abies sachalensis* and *Picea glehnii*, FESPB congress, 17 -21 July 2006, Lyon, France.

Moharekar S., Moharekar S., Ono K., Sumida A., Hara T.: Effects of seasonally varying temperature and changes in daily light intensity on the needle photo-protective mechanism and chlorophyll biosynthesis of *Taxus cuspidate*, FESPB congress, 17 -21 July 2006. Lyon, France.

Ogawa K., Matsumoto M.: Plant growth and pathogen-related response are regulated by photosynthesis via glutathionylation of a single protein, The 20th International Congress of Biochemistry and Molecular Biology (IUBMB), 18-23 June 2006, Kyoto, Japan

Hobo T., Iwabuchi M., Ogawa K.: A mechanism for promoting the germination of Arabidopsis seeds by reactive oxygen species, The 20th International Congress of Biochemistry and Molecular Biology (IUBMB), 18-23 June 2006, Kyoto, Japan

Henmi K., Ito H., Iwabuchi M., Ogawa K.: Functions of AtPTP1, a protein tyrosine phosphatase, downstream of abscisic acid signal in Arabidopsis, The 20th International Congress of Biochemistry and Molecular Biology (IUBMB), 18-23 June 2006, Kyoto, Japan

Ogawa, K., Matsumoto M., Hatano-Iwasaki A., Henmi K.: Plant growth and pathogen-related response are regulated via glutathionylation of a single protein, The 17th International Congress on Arabidopsis Research, 28 June - 2 July 2006, Madison, WI, USA

Matsumoto, M., Ogawa, K.: Regulation of fructose-1,6-bisphosphate aldolase via glutathionylation in Arabidopsis chloroplasts, The 17th International Congress on Arabidopsis Research, 28 June - 2 July, 2006, Madison, WI, USA

Ono K., Hara T.: Effects of plant growth and photo-oxidative stress on leaf senescence in *Quercus crispula* seedlings, XV Federation of European Societies Plant Biology Congress, 20 July 2006, Lyon, France

Moharekar S., Moharekar S., Ono K., Uchiyama K., Sumida A., Tanaka A., Hara T.: Effects of seasonally varying temperature on the pigment composition and chlorophyll biosynthesis of *Abies sachalensis* and *Picea glehnii*, XV Federation of European Societies Plant Biology Congress, 20 July 2006, Lyon, France

小川健一、柳田元継、兒玉なつ美: 温および光照度によるリノレン酸を介した花成制御、植物細胞分子生物学会&科学技術振興機構 CREST 第5回公開シンポジウム、2006年7月29-30日、つくば

岩崎(葉田野)郁、内山和子、小野清美、渡辺一郎、来田和人、小川健一、原登志彦: 北方樹木グイマツにおける花成形成に関する気象要因と遺伝子発現、植物細胞分子生物学会&科学技術振興機構 CREST 第5回公開シンポジウム、2006年7月29-30日、つくば

柳田元継、岩崎(葉田野)郁、逸見健司、小川健一: 光強度および春化によるグルタチオンを介した花成制御、植物細胞分子生物学会&科学技術振興機構 CREST 第5回公開シンポジウム、2006年7月29-30日、つくば

宇梶徳史、原登志彦: 光ストレスから見た樹木の越冬戦略、植物細胞分子生物学会&科学技術振興機構 CREST 第5回公開シンポジウム、2006年7月29-30日、つくば

Aarti P.D., Tanaka R., Tanaka A.: Effect of high light stress on chlorophyll biosynthesis, 2006年度日本植物学会北海道支部大会、2006年7月30日、札幌

Matsumoto M., Ito H., Henmi K., Ogawa K.: Differential regulation of fructose-bisphosphate aldolase isozymes by glutathione and thioredoxin in Arabidopsis chloroplasts, The 13th Biennial Congress of the International Society of Free Radical Research (ISFRR), 15-19 August 2006, Davos, Switzerland

Sakuraba Y., Tanaka R., Tanaka A.: Analysis of regulation mechanism of chlorophyllide a oxygenase, Japanese-Finnish Seminar 2006 “Molecular mechanisms for regulation of photosynthetic organisms under stressed conditions”, 31 October 2006, Nara, Japan

Aarti P.D., Tanaka R., Ito H., Tanaka A.: Effects of high light stress on chlorophyll biosynthesis pathway, Japanese-Finnish Seminar 2006 “Molecular mechanisms for regulation of photosynthetic organisms under stressed conditions”, 31 October 2006, Nara, Japan

Ukaji N., Hara T.: Adaptation mechanisms to photoinhibition in overwintering conifer, Japanese-Finnish Seminar, 31 October 2006, Nara, Japan

岩崎(葉田野)郁、内山和子、小野清美、渡辺一郎、八坂通泰、来田和人、小川健一、原登志彦: 北方林樹木グイマツの花芽形成における *LEAFY* 相同遺伝子の発現と気象要因、第 54 回日本生態学会大会、2007 年 3 月 19-22 日、松山

小野清美: 部分被陰処理が葉の老化に与える影響の生育環境による違い、第 54 回日本生態学会大会、2007 年 3 月 19-22 日、松山

宇梶徳史、原登志彦: 冬季の過剰な光ストレスへの適応が樹木の生活環に及ぼす影響、第 54 回日本生態学会大会、2007 年 3 月 19-22 日、松山

田畑あずさ、小野清美、隅田明洋、原登志彦: 前年度の乾燥ストレスがダケカンバの形態と光合成機能に及ぼす影響、第 54 回日本生態学会大会、2007 年 3 月 19-22 日、松山

山口貴広、山田雅仁、戸田求、中井太郎、小野清美、植村滋、隅田明洋、原登志彦: ダケカンバ林林床のチシマザサの炭素・水収支の推定と季節変化、第 54 回日本生態学会大会、2007 年 3 月 19-22 日、松山

小野清美、江藤典子、内山和子、渡辺一郎、来田和人、原登志彦: 北方林における落葉樹の葉の光ストレス防御応答系の季節変化、第 48 回日本植物生理学会年会、2007 年 3 月 28-30 日、松山

伊藤寿、田中亮一、田中歩: *Synechococcus* WH8102 の光化学系の形質転換、第 48 回日本植物生理学会年会、2007 年 3 月 28-30 日、松山

横野牧生、秋本誠志、岸本純子、田中歩: 常緑樹イチイにおける励起エネルギー移動過程の季節変化、第 48 回日本植物生理学会年会、2007 年 3 月 28-30 日、松山

保浦徳昇、潮見直織美、岩淵雅樹、小川健一: 活性酸素はジベレリン合成遺伝子の発現調節を介して発芽を誘導する、第 48 回日本植物生理学会年会、2007 年 3 月 28-30 日、松山

Moharekar S., Moharekar S., Tanaka R., Tanaka A., Hara T.: Great promoting effect of high irradiance from germination on flowering in *Arabidopsis thaliana* – a process of photo-acclimation, the 18th International Conference on Arabidopsis Research, 20 – 23 June 2007, Beijing, China.

宇梶徳史、原登志彦 「越冬中の常緑針葉樹を被陰したら？」
日本光合成研究会シンポジウム(岡山) 2007、5、25-26

Ukaji N., Hara T.: Physiological, Biochemical and molecular characteristics of sun and shade needles of evergreen conifer *Taxus cuspidata* in winter, International Plant Cold Hardiness Seminar, 3-10 August 2007, Saskatoon, Canada

Ukaji N., Hara T.: Overwintering strategy of trees-from a point of view of molecular ecology-, JAPAN-US meeting “Phenotypic plasticity meeting”, 23-26 October 2007, Nikko, Japan

(4)特許出願

①国内出願 (8件)

発明の名称:植物の生育状態を測定する方法、及びそのためのキット
発明者:小川 健一・柳田 元継・原 登志彦
出願人:科学技術振興事業団・岡山県
出願日:平成15年(2003年)3月4日
出願番号:特願2003-57279

発明の名称:微生物由来のポリアミノ酸またはその誘導体
発明者:西川正信、小川健一
出願人:岡山県
出願日:2003年4月18日
出願番号:PCT/JP03/04960

発明の名称:植物生長調整補助剤及び該植物生長調整剤を使用した再分化植物体の作製方法
発明者:小川健一、逸見健司、斉藤晋
出願人:岡山県、興人
出願日:2003年5月30日
出願番号:特願2003-154278

発明の名称:パラコート耐性遺伝子並びに維管束及びトライコーム特異的プロモーター
発明者:伊藤寿、田中良和、小川健一、近藤聡、大音徳、古澤巖
出願人:岡山県、トヨタ自動車
出願日:2003年9月12日
出願番号:特願2003-322051

発明の名称:病害抵抗性植物の効率的な選抜方法
発明者:小川健一、向原隆文、近藤聡、大音徳、古澤巖
出願人:岡山県、トヨタ自動車
出願日:2003年9月17日
出願番号:特願2003-325048

発明者:田中歩、田中亮一、永田望、山里明弘

発明の名称:新規クロロフィル合成酵素およびその利用
出願人:(独)科学技術振興機構、国立大学法人北海道大学
出願日:2004年12月28日
出願番号:特願 2004-381466

発明の名称:環境ストレス耐性を付与する方法
発明者:発明者、出願人、出願日、出願番号小川健一、逸見健司、近藤聡、服部悦子、光川典宏
出願人:岡山県、トヨタ自動車
出願日:2005年5月31日
出願番号 :特願2005-369610

発明の名称:成長性および病害抵抗性が向上した植物並びにその作出方法
発明者:小川健一、松本雅好、白石友紀
出願人:岡山県
出願日:2006年2月9日
出願番号 :特願2006-032895

②海外出願 (0 件)

その他 4 件

(5)受賞等

①受賞

Nakatsuka T., Ohnishi K., Hara T., Sumida A., Mitsuishi D., Kurita N. & Uemura S.
“Oxygen and carbon isotopic ratios of tree-ring cellulose in a conifer-hardwood mixed forest in northern Japan” *Geochemical Journal*, Vol. 38, 77-88.
The Geochemical Journal Award of 2005
(The Geochemical Society of Japan, 23 May 2005)
The best paper in 2004

小川健一
日本生化学会中国・四国支部 優秀研究発表賞(平成 18 年度)

②新聞報道

共同通信配信: 日経新聞、北海道新聞、室蘭民報、山形新聞、茨城新聞、信濃毎日新聞、新潟日報、愛媛新聞、宮崎日日新聞などに掲載
2004年1月9日朝刊 「「生り年」の仕組み解明 森林計画に応用も」「植物の開花時期 光ストレスで早まる」「過剰光でストレス 開花極度に早く」など

毎日新聞: 2004年5月17日朝刊 「「北方林」成長調査 冬に活性酸素多く生成 北大など解明 温暖化防止に効果 葉緑体も細胞中心部に移動」

③その他

無し

(6)その他特記事項

該当無し

7 研究期間中の主な活動
ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
平成 14 年 11 月 9 日 ～10 日	チーム全体ミーティング	札幌	20 名	今後の研究計画に関してチーム全体の打合せを行った。
平成 15 年 5 月 29 日 ～30 日	チーム全体ミーティング及び成果発表会	札幌	約 30 名	本研究課題でこれまでに得られた成果の発表および今後の共同研究の計画と打合せ
平成 15 年 10 月 16 日 ～17 日	国際シンポジウム Diversity of Reproductive Systems in Plants: Ecology, Evolution and Conservation	札幌	約 100 名	植物の繁殖様式に関する国内外の第一線の研究者(海外 8 名、国内 4 名)を招待講演者として招き、植物の繁殖様式の生態と進化、そして絶滅危惧種の保全に関する国際シンポジウムを開催した。
平成 15 年 12 月 11 日 ～12 日	チーム全体ミーティング及び成果発表会	札幌	約 30 名	本研究課題でこれまでに得られた成果の発表および今後の共同研究の計画と打合せ
平成 16 年 3 月 27 日	(日本植物生理学会第 45 回年会の企画シンポジウムの一つとして、) シンポジウム Redox-governed System and Survival Strategies in Plants	東京	約 100 名	植物のレドックス制御に関する第一線の研究者を海外から 3 名招聘し、また国内から 4 名の講演者を招待し、その分子生物学・生化学・生理学そして植物の生存戦略に関するシンポジウムを CREST と共催で行った。
平成 16 年 7 月 1 日～ 2 日	チーム全体ミーティング及び成果発表会	札幌	約 30 名	本研究課題でこれまでに得られた成果の発表および今後の共同研究の計画と打合せ
平成 16 年 8 月 28 日	第 51 回日本生態学会大会 企画シンポジウム「北海道からカムチャツカへ」	釧路	約 100 名	環境変動が北海道からカムチャツカにかけての地域の動植物に与える影響は非常に大きい可能性がある。5 名の講演者を招待し、この地域の環境変動のもたらす問題と今後の課題を議論するシンポジウムを開催した。
平成 16 年 10 月 12 日 ～13 日	IGBP-GLP(LAND)第 1 回 国内シンポジウム「統合陸域研究計画に向けたダイアログ形成」	札幌	約 50 名	今後の地球環境と取り利用を考える統合陸域研究計画 LAND に向けて、生態学、気象学、地理学、農学、経済学、社会学など様々な分野からの研究者を招きシンポジウムを開催した。

平成 16 年 12 月 14 日 ～15 日	チーム全体ミーティング及 び成果発表会	札幌	約 30 名	本研究課題でこれまでに得られ た成果の発表および今後の共同 研究の計画と打合せ
平成 17 年 5 月 26 日 ～28 日	チーム全体ミーティング及 び成果発表会	岡山	10 名	本研究課題でこれまでに得られ た成果の発表および今後の共同 研究の計画と打合せ
平成 18 年 3 月 27 日	The Second Scientific Congress of East Asian Federation of Ecological Societies (EAFES2) “Forest Ecosystem Dynamics with Global Change”	新潟	50 名	EAFES2 の企画シンポジウム (国際)として「地球環境変化と森 林生態系の動態」を開催した。 北方林から熱帯林に至る様々な 森林生態系で、地球温暖化など の影響がどのように現れているの か、また今後どのような影響が現 れると予想されるのかなどについ て 7 名の発表と討論を行った。
平成 18 年 10 月 29 日 ～11 月 2 日	Japanese-Finnish Seminar 2006 “Molecular mechanisms for regulation of photosynthetic organisms under stressed conditions”	奈良	50 名	光合成生物のストレス応答につ いて、分子生物学的、生理学的 解析に関する報告を行った。 CREST の目的とよく一致した会 議で、本プロジェクト遂行のため に大変有効であった。
平成 19 年 1 月 16 日 ～18 日	チーム全体ミーティング及 び成果発表会	岡山	20 名	本研究課題でこれまでに得られ た成果の発表および今後の共同 研究の計画と打合せ
平成 19 年 9 月 28 日	チーム全体ミーティング及 び成果発表会	札幌	20 名	本研究課題の研究成果のとりま とめと終了報告書に関する打合 せ

8 結び

5 年半という長い期間、CREST 研究員や研究補助員の雇用を継続して行うことができ、腰を落
ち着けてじっくりと研究を続けることができました。このような研究環境を与えていただいた戦略的
創造研究推進事業に心より感謝申し上げます。特に、我々の研究対象は北方林の樹木ですので、
長期にわたる調査、観測、測定、そして解析が不可欠のものとなります。したがって、この 5 年半の
CREST プロジェクトがなければ、このような新しい研究成果を得ることは不可能であったと思いま
す。我々の研究は、北方林の繁殖戦略、生存戦略、生物多様性といった生態学的な課題に生理・
生化学的、分子生物学的に迫るものでした。草本植物のシロイヌナズナなどを用いた開花に関す
る研究では、様々な遺伝子の同定とそれらの機能が解明されています。しかしながら、生長に長期
間かかる樹木の開花に関する研究では未解明な部分が多く残っています。したがって、最初は手
探り状態の研究が続きましたが、これまでの 5 年間で、グイマツ(カラマツの一種)など北方林樹種
の開花に関与する遺伝子群や物質を特定することが出来、さらに気象条件の季節変化に応じてこ
れらの遺伝子群の発現様式と物質量が変化するプロセスをある程度解明することができました。こ
れらの成果を応用すれば、来年どの程度の種子が生産されるかを今年の段階で予測することが可
能となります。また、人為的に多量の種子を生産させて造林や品種改良に用いたりすることも可能
となるでしょう。さらには、サクラの開花予想やスギ花粉量の予測(花粉症の人のために)にも応用
できるのではないかと考えています。また、北方林の幼木の生存・枯死や落葉樹と常緑樹の共存と
いった生物多様性の問題など生態学の主要テーマに対して生理・生化学的、分子生物学的観点

から理解することができるようになったのは非常に興味深いことでした。今後は、気候変動と植生変化の問題など、地球環境科学的テーマにこのような観点からアプローチすることができるのではないかと考えています。以上のような方向付けが可能となったのも、5年半にわたるCRESTプロジェクトのおかげであります。

我々の研究には、生態学、生理学、生化学、分子生物学、気象学といった多くの異なる分野の研究者が参加しました。このような異分野間での議論は大変興味深いものであり、楽しく研究を遂行することが出来ました。また、参加した研究員や大学院生にとっても大きな知的刺激となったようで、異なる分野の考え方を取り入れて新しいアイデアを出すなど、若手の育成という面においてもCRESTプロジェクトは大いに貢献したのではないかと思います。

研究期間中、総括の鈴木昭憲先生ならびに井上悟技術参事には数多くのご指導ご助言、そして多大なサポートを賜りました。深く感謝申し上げます。また、「植物の機能と制御」領域事務所をはじめとする科学技術振興機構の方々そして中村保典先生をはじめとする秋田サテライトラボの方々にも大変お世話になったことを心から感謝いたします。



(左)グイマツの「生り年」研究のための気象観測装置の設置。2004年5月、北海道立林業試験場(美唄市)にて。
(右)グイマツの「生り年」研究のためのパラコート処理実験。2005年5月、北海道立林業試験場(中川町)にて。