

戦略的創造研究推進事業 CREST  
研究領域「二酸化炭素排出抑制に資する  
革新的技術の創出」  
研究課題「CO<sub>2</sub>固定の新規促進機構を活用したバ  
イオマテリアルの増産技術開発」

## 研究終了報告書

研究期間 平成21年10月～平成27年3月

研究代表者：小川 健一  
(岡山県農林水産総合センター 生物  
科学研究所、グループ長)

## § 1 研究実施の概要

(1)実施概要 (注:西村基生研 G は、退職により途中から真野 G に変更)

グルタチオンが光合成による植物のCO<sub>2</sub>固定能力を大幅に向上させ、収量を高めるという発見に基づき、(あ)メカニズムの解明、(い)開発技術のポテンシャルの評価を目的とした。

(あ)では、光合成、転流、バイオマスの蓄積(特定の物質の蓄積、総バイオマスとしての蓄積)の視点に切り分け、シロイヌナズナでの詳細解析を進め、さらに、ダイズ(組換え体作製:山田 G)やポプラ、ユーカリ(組換え体作製:河岡 G)等でその普遍性を検証しながら、各グループ間での共同で研究を進めた。小川 G によって、植物群落としての生産性の向上の要因は、光利用効率の大幅な向上と、気孔密度と開口度の制御による CO<sub>2</sub> 供給促進、CO<sub>2</sub> 固定回路の増強による CO<sub>2</sub> 同化の促進にあることが判明した。しかし、気孔数を制御する遺伝子 Stomagen との相乗効果は見出されず、グルタチオン投与だけで十分に気孔制御が可能と考えられた(小川 G、西村・京大 G と共同)。油脂蓄積機構の遺伝子のうち、グルタチオンで相乗効果をもたらす遺伝子も明らかにできた(西村基生研 G と小川 G 共同)。グルタチオン投与による代謝変化や遺伝子発現の変化(小川 G)は、表現型と相関していた。なかでも糖飢餓状態で発現する遺伝子群の挙動は、透過型電子顕微鏡観察で葉内のデンプン蓄積の著しい低下(小川 G、高部 G 共同)や、トレーサー実験による光合成活性と独立した転流の促進(藤巻 G、小川 G 共同)の事実とよく一致していた。なお、光合成と転流が独立に制御されることは世界で初めての発見である。投与したグルタチオンは酸化型と還元型で異なる効果を示し、葉への投与と根からの投与では、効果が違うことも明らかになった(小川 G)。光合成促進効果は投与葉と非投与葉でも認められたが、転流との関係は相関した制御ではなかったことから、未知のシステミックなシグナル伝達機構の存在が新たに明らかになった(炭素動態:小川 G、藤巻 G と共同、グルタチオンの動態:田野井 G。最終繰り返し実験 10 月 27 日サイクロトロン利用)。

遺伝子導入によるグルタチオン合成制御により、グルタチオンで挙動する遺伝子は、春化(冬を経験して初めて、花や穂をつける現象)の現象で挙動する遺伝子と一致することも明らかにできた。グルタチオンで種子収量が大幅に向上するメカニズムが環境応答と完全にリンクすることを実証するものである(小川 G)。グルタチオン結合タンパク質で CO<sub>2</sub> 固定のカギ酵素として見出した FBA1 は、低窒素栄養条件下でも高いバイオマス生産性を保った。その性質は、同時期に報告された窒素栄養に依存するタイプの CO<sub>2</sub> 固定回路遺伝子とは異なる(小川 G。FBA は、国際光合成会議で、光合成の改良のための3つのターゲットの一つに選ばれた)。代謝解析やトレーサー実験で、グルタチオンが窒素の取込みを向上させることを明らかにし、グルタチオン結合タンパク質の中からその原因遺伝子の候補の特定までたどり着いた。変異体はグルタチオンのバイオマス増収効果が極めて抑制されており、特に種子の増収効果は見出せなくなった。さらに、グルタチオンの機能解明を進めるために最適な表現を示す組換え体をシロイヌナズナとクラミドモナスで作製し、そのリパータント変異の取得を進めた(小川 G)。藻類のデンプン生産機構を直接制御する遺伝子など特許性のある遺伝子がさらに特定された。

(い)では、小川 G はベトナム G や国内外協力機関と共同でキャッサバ等のフィールド試験を行った。また、ユーカリフィールド試験は、河岡 G と高部 G、小川 G 共同で実施し、開発技術のポテンシャルを評価した。木本では、畑作物に比べ、明確な適期が見いだせていないが、最大 3 割程、おおよそ 1 から 1.5 割程度のバイオマスの増収が認められた。畑作は、特に芋での増収が著しかったが、10%~100%増まで幅広い結果が得られた。今研究では、グルタチオン投与効果を最適化できる技術を開発したので、今後はそれを活用する。2011 年の世界と日本の CO<sub>2</sub> 排出量は、それぞれ 31.8 ギガトンと 1.2 ギガトンと見積られる。単純な CO<sub>2</sub> 換算でいうと 10% 程度の人工林の成長促進でも、約 0.5 ギガトンの固定促進(LCA は勘案なし)で、トウモロコシやダイズ、イネ、コムギ等の主要な作物も同様に促進された場合は、ほぼ日本の排出量を賄うポテンシャルである。実際には、2割から5割増程度の結果が中心であり、最適化なしの現状でも、日本の排出量を完全にカバーできるだけのポテンシャルがある。組換え体の結果では、さらに高い生産性が期待できることから、将来に渡り、本開発の方向性は有効と考えられる。

(2)顕著な成果<候補となっているものは、未受理のものも既受理のものも含まれているが、3月の時点で最終的な理解度と受理状況に応じて、その選定を判断したいと思うものである>

<優れた基礎研究としての成果>

#### 1. CO<sub>2</sub>固定能力の分子遺伝的改変による増強<論文>

概要:(200字程度)

従来は、RuBisCOという酵素でCO<sub>2</sub>の固定能が律され则认为されてきた。しかし、我々はRuBisCOとは無関係にグルタチオン結合型アルドラーゼの量的改変でCO<sub>2</sub>固定能力、バイオマス収量、種子収量を向上させることが可能なことを示し、従来の科学的常識を覆した。(論文は掲載誌の表紙に採用され、この内容は国際学会で光合成の改善候補3点のうちのひとつに選ばれ、国際共同プロジェクトが開始されている。)

#### 2. 春化と現象をグルタチオンが制御<論文>

概要:(200字程度)

春化とは、冬を経験することで初めて花が咲く現象をいうが、秋まき小麦など作物収量とも大きな関わりのある一般的な関心事である。しかしながら、肝心の生化学的なメカニズムの理解が進んでいなかった。この論文では、春化处理で制御される遺伝子の主要なものがグルタチオンで制御されることを示した。従来、これほど明確に温度とその実効因子との関係が示された化合物はない。

<科学技術イノベーションに大きく寄与する成果>

#### 1. 藻類を用いた超微粒子デンプンおよび油脂の生産技術

<国際特許出願、一部の国では既に特許査定>

概要:(200字程度)

従来、微細藻類では、デンプンや油脂の高生産を実現するためには、窒素栄養欠乏等の培地条件の変更や回収・精製の工程が必要とされた。我々はグルタチオン代謝改変によって、通常の生育良好な条件でもデンプンや油脂の高生産が可能で、生産物の回収・精製を簡便化できる技術を開発した。<実施契約を締結し、実用開発中>

#### 2. 非破壊測定による植物の収量予測・管理技術

<国際特許出願、一部の国では既に特許査定>

概要:(200字程度)

植物の収量と関係する因子を非破壊で測定し、極めて早期に収量性を予測できる技術を開発した。しかも、測定対象は、グルタチオン投与による増収効果を決定する因子でもあることから、グルタチオン投与の時期最適化や投与効果の判断など、非破壊で生産性を管理できる技術へつながる。原理的には、衛星からのリモートセンシング技術への応用も可能であり、農林業生産のスマートグリッド構築への貢献が期待される。

#### 3. 高密度栽培でも高収量を保つ遺伝子<特許出願>

概要:(200字程度)

植物は、栽培密度を高めると個体あたりのバイオマス量が減少するため、面積当たりの生産性には限界が存在する。その限界を打破する遺伝子をグルタチオン関連のスクリーニングで複数取得した。耕作地の拡大が難しくなるなか、土地生産性の上限を引き上げる重要な技術へつながる。また、非組み換え技術を利用する際には、適正品種の選抜のための遺伝子マーカーとしても利用が期待できる。

## § 2 研究実施体制

### (1) 研究チームの体制について

#### ① 光合成・転流制御グループ(1) (小川グループ)

研究参加者

| 氏名     | 所属                   | 役職         | 参加時期             |
|--------|----------------------|------------|------------------|
| 小川 健一  | 岡山県農林水産総合センター生物科学研究所 | グループ長      | H21.10～<br>H27.3 |
| 後藤 弘爾  | 岡山県生物科学総合研究所         | 主任研究員      | H21.10～<br>H22.3 |
| 小田 賢司  | 岡山県生物科学総合研究所         | 主任研究員      | H21.10～<br>H22.3 |
| 西川 正信  | 岡山県農林水産総合センター生物科学研究所 | 主任研究員      | H21.10～<br>H27.3 |
| 逸見 健司  | 岡山県農林水産総合センター生物科学研究所 | 研究員        | H21.10～<br>H27.3 |
| 小倉 美智子 | 岡山県農林水産総合センター生物科学研究所 | リサーチアソシエイト | H21.10～<br>H27.3 |
| 大野 良子  | 岡山県生物科学総合研究所         | PD 研究員     | H21.10～<br>H24.5 |
| 岩崎 郁   | 岡山県農林水産総合センター生物科学研究所 | 流動研究員      | H21.10～<br>H24.3 |
| 岩崎 郁   | 岡山県農林水産総合センター生物科学研究所 | PD 研究員     | H24.3～H27.3      |
| 清川 一矢  | 岡山県農林水産総合センター生物科学研究所 | 流動研究員      | H24.7～H27.3      |
| 山里 明弘  | 岡山県生物科学総合研究所         | 流動研究員      | H21.10～<br>H22.3 |
| 花野 滋   | 岡山県生物科学総合研究所         | 特別流動研究員    | H21.10～<br>H22.3 |
| 横谷 尚起  | 岡山県生物科学総合研究所         | 流動研究員      | H21.10～<br>H22.3 |
| 木村 愛子  | 岡山県農林水産総合センター生物科学研究所 | PD 研究員     | H22.4～H25.3      |
| 三宅 佳子  | 岡山県農林水産総合センター生物科学研究所 | リサーチアソシエイト | H21.10～<br>H23.4 |
| 中西 友子  | 東京大学大学院農学生命科学研究科     | 教授         | H22.4～<br>H22.11 |
| 田野井慶太郎 | 東京大学生物生産工学研究センター     | 助教         | H22.4～<br>H22.11 |
| 荒牧 俊宣  | 東京大学農学部              | 学生         | H22.4～<br>H22.11 |
| 五十嵐 伸弥 | 東京大学農学部              | 学生         | H22.4～<br>H22.11 |
| 丸山 伸之  | 京都大学大学院農学研究科         | 准教授        | H22.4～<br>H27.3  |

|        |                            |                |                  |
|--------|----------------------------|----------------|------------------|
| 二瓶 直登  | 福島県農業総合センター                | 主任研究員          | H22.4～<br>H22.11 |
| 遠藤 あかり | 福島県農業総合センター                | 主任研究員          | H22.4～<br>H22.11 |
| 岩渕 哲也  | 福岡県農業総合試験場                 | チーム長           | H22.4～<br>H27.3  |
| 白岩 立彦  | 京都大学大学院農学研究科               | 教授             | H22.4～<br>H22.3  |
| 濃野 洵   | 岡山県農林水産総合センタ<br>ー生物科学研究所   | リサーチアソシエ<br>イト | H23.1～<br>H26.3  |
| 神原 里沙  | 岡山県農林水産総合センタ<br>ー生物科学研究所   | リサーチアソシエ<br>イト | H23.10～<br>H26.5 |
| 谷口 はるか | 岡山県農林水産総合センタ<br>ー生物科学研究所   | PD 研究員         | H25.5～<br>H27.3  |
| 平田 章代  | 岡山県農林水産総合センタ<br>ー生物科学研究所   | 研究補助員          | H25.5～<br>H27.3  |
| 櫻間 恭子  | 岡山県農林水産総合センタ<br>ー生物科学研究所   | 研究補助員          | H26.4～<br>H27.3  |
| 狩野 真一  | 岡山県農林水産総合センタ<br>ー生物科学研究所   | 研究補助員          | H26.4～<br>H27.3  |
| 中川 昌人  | 岡山県農林水産総合センタ<br>ー生物科学研究所   | P D研究員         | H26.4～<br>H27.3  |
| 野田 壮一郎 | 岡山県農林水産総合センタ<br>ー生物科学研究所   | P D研究員         | H26.4～<br>H27.3  |
| 関 原明   | (独)理化学研究所植物科学<br>研究センター    | チームリーダー        | H24.4～<br>H25.3  |
| 内海 好規  | (独)理化学研究所植物科学<br>研究センター    | 特別研究員          | H24.4～<br>H25.3  |
| 中村 進一  | 秋田県立大学                     | 准教授            | H23.11～<br>H27.3 |
| 吉松 嘉代  | (独)医薬基盤研究所薬用植<br>物資源研究センター | 室長             | H23.12～<br>H27.3 |
| 上森 真広  | 大阪府立環境農林水産総合<br>研究所        | 研究員            | H25.4～<br>H27.3  |
| 川内 由美  | 岡山県農林水産総合センタ<br>ー生物科学研究所   | リサーチアソシエ<br>イト | H26.7～<br>H26.10 |

#### 研究項目

- ・グルタチオンによる CO<sub>2</sub> 固定促進機構の更なる解明
  - 気孔数の制御とグルタチオンとの関係について
  - CO<sub>2</sub> 固定とグルタチオン制御との関係について
  - 転流におけるグルタチオンとの関係について
  - 窒素吸収とグルタチオンとの関係について
- ・ダイズとポプラの遺伝子組換え体の表現型の評価
- ・グルタチオン施用によるユーカリおよびダイズ、キャッサバの増収効果の評価

#### ② 光合成・転流制御グループ(2) (北大グループ)

##### 研究参加者

| 氏名     | 所属                | 役職    | 参加時期             |
|--------|-------------------|-------|------------------|
| 山田 哲也  | 北海道大学大学院<br>農学研究員 | 講師    | H21.10～<br>H27.3 |
| 橋井 康子  | 北海道大学             | 研究支援員 | H22.4～<br>H26.12 |
| 柴山 明子  | 北海道大学             | 研究支援員 | H22.4～<br>H23.3  |
| 柴田 雅之  | 北海道大学             | M2    | H21.10～<br>H22.3 |
| 鈴木 元美  | 北海道大学             | 研究支援員 | H23.4～<br>H26.11 |
| 阿形 宙也  | 北海道大学             | M1～M2 | H23.4～<br>H25.3  |
| 鳥井 綾子  | 北海道大学             | M1～M2 | H23.4～<br>H25.3  |
| 山下 祐佳  | 北海道大学             | M1～M2 | H23.4～<br>H23.9  |
| 森 芳広   | 北海道大学             | M1～M2 | H23.4～<br>H25.3  |
| 小林 秀樹  | 北海道大学             | M1～M2 | H24.4～<br>H26.3  |
| 田辺 大悟  | 北海道大学             | M1～M2 | H24.4～<br>H26.3  |
| 香月 遼   | 北海道大学             | M1～M2 | H25.4～<br>H27.3  |
| 杉澤 駿   | 北海道大学             | M1～M2 | H25.4～<br>H27.3  |
| 土田 まるみ | 北海道大学             | M1    | H26.4～<br>H27.3  |

#### 研究項目

- ・形質転換実験の設計
- ・形質転換体の作出
- ・形質転換体の解析
- ・材料の維持とデータ整理
- ・形質転換体の成分解析
- ・形質転換体の DNA 分析

③光合成・転流制御グループ(3) (藤巻グループ)

研究参加者

| 氏名                | 所属          | 役職                 | 参加時期             |
|-------------------|-------------|--------------------|------------------|
| 藤巻 秀              | 日本原子力研究開発機構 | グループリーダー           | H21.10～<br>H27.3 |
| 河地 有木             | 日本原子力研究開発機構 | 研究副主幹              | H21.10～<br>H27.3 |
| 鈴井 伸郎             | 日本原子力研究開発機構 | 研究副主幹              | H21.10～<br>H27.3 |
| 石井 里美             | 日本原子力研究開発機構 | 研究員                | H21.10～<br>H27.3 |
| 尹 永根              | 日本原子力研究開発機構 | 研究員                | H23.4～<br>H27.3  |
| 山崎 治明             | 日本原子力研究開発機構 | 学生実習生(M1～<br>D3)   | H21.10～<br>H27.3 |
| 小柳 淳              | 日本原子力研究開発機構 | 学生実習生(学部4<br>年～M2) | H23.4～<br>H26.3  |
| ニュエン・バン・フ<br>イ・フン | 日本原子力研究開発機構 | 特別研究生(D2～<br>D3)   | H24.4～<br>H26.3  |
| 井倉 将人             | 日本原子力研究開発機構 | 学術振興会特別研<br>究員(PD) | H24.5～<br>H24.9  |
| 伊藤 小百合            | 日本原子力研究開発機構 | 博士研究員              | H21.10～<br>H22.3 |

研究項目

- ・光合成・転流制御: 光合成・転流のリアルタイムイメージング系を用いた有用遺伝子の効能評価とその機能解析

④光合成・転流制御グループ(4) (田野井グループ)

研究参加者

| 氏名      | 所属                   | 役職       | 参加時期            |
|---------|----------------------|----------|-----------------|
| 田野井 慶太郎 | 東京大学大学院農学生命<br>科学研究科 | 准教授      | H22.4～<br>H27.3 |
| 中西 友子   | 東京大学大学院農学生命<br>科学研究科 | 教授       | H22.4～<br>H23.3 |
| 大野 雅子   | 東京大学大学院農学生命<br>科学研究科 | 技術補佐員    | H24.4～<br>H26.5 |
| 荒牧 俊宣   | 東京大学大学院農学生命<br>科学研究科 | 学部4年生～D2 | H22.4～<br>H27.3 |
| 五十嵐 伸弥  | 東京大学大学院農学生命<br>科学研究科 | 学部4年生～D2 | H22.4～<br>H27.3 |

研究項目

- ・水耕栽培を用いた、シロイヌナズナ、コマツナおよびダイズにおけるグルタチオン施用効果の観察
- ・<sup>35</sup>S ラベルグルタチオンを用いたトレーサー実験

⑤光合成・転流制御グループ(5)(二瓶グループ)

研究参加者

| 氏名     | 所属              | 役職    | 参加時期             |
|--------|-----------------|-------|------------------|
| 二瓶 直登  | 福島県<br>農業総合センター | 主任研究員 | H22.12～<br>H23.3 |
| 遠藤 あかり | 福島県<br>農業総合センター | 主任研究員 | H22.12～<br>H23.3 |
| 荒井 義光  | 福島県<br>農業総合センター | 畑作科長  | H22.12～<br>H23.3 |
| 斉藤 隆   | 福島県<br>農業総合センター | 研究員   | H22.12～<br>H23.3 |
| 阿部 昌一  | 福島県<br>農業総合センター | 臨時職員  | H22.12～<br>H23.2 |

研究項目

- ・グルタチオン投与によるダイズの生産性の改善効果の評価

⑥オイル蓄積制御グループ(1)(西村・京大グループ)

研究参加者

| 氏名     | 所属               | 役職                    | 参加時期                                       |
|--------|------------------|-----------------------|--------------------------------------------|
| 西村 いくこ | 京都大学大学院<br>理学研究科 | 教授                    | H21.10～<br>H27.3                           |
| 嶋田 知生  | 同上               | 講師                    | H21.10～<br>H27.3                           |
| 田村 謙太郎 | 同上               | 助教                    | H21.10～<br>H27.3                           |
| 上田 晴子  | 同上               | 特定研究員                 | H21.10～<br>H22.9                           |
| 高橋 健太郎 | 同上               | 大学院生                  | H21.10～<br>H22.3                           |
| 島田 貴士  | 同上               | 大学院生                  | H21.10～<br>H23.3                           |
| 中野 亮平  | 同上               | 大学院生                  | H21.10～<br>H24.3                           |
| 岡本 圭史  | 同上               | 大学院生                  | H21.10～<br>H25.3                           |
| 菅野 茂夫  | 同上<br>同上<br>徳島大学 | 大学院生<br>特定研究員<br>特任助教 | H21.10～H25.3<br>H25.4～H26.3<br>H26.4～H27.3 |
| 中辻 綾   | 京都大学大学院<br>理学研究科 | 大学院生                  | H21.10～<br>H22.3                           |
| 宮原 窓   | 同上               | 大学院生                  | H21.10～<br>H23.3                           |
| 高木 純平  | 同上               | 大学院生                  | H21.10～<br>H26.3                           |
| 市野 琢爾  | 同上               | 大学院生                  | H21.10～<br>H26.9                           |



|              |                                      |                 |                                |
|--------------|--------------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| 田中 智幸        | 同上                                   | 大学院生            | H21.10～<br>H23.3               |
| 大橋 愛子        | 同上                                   | 大学院生            | H21.10～<br>H23.3               |
| 後藤 千恵子       | 同上                                   | 大学院生            | H21.10～<br>H26.3               |
| 岩渕 功誠        | 同上                                   | 特定研究員           | H22.4～H22.9<br>H26.4～H27.3     |
| 川瀬 貴士        | 同上                                   | 大学院生            | H22.4～<br>H27.3                |
| 下野 裕貴        | 同上                                   | 大学院生            | H22.4～<br>H24.3                |
| 田中 佑         | 京都大学大学院<br>理学研究科<br>京都大学大学院<br>農学研究科 | 特定研究員<br><br>助教 | H23.4～H24.3<br><br>H24.4～H27.3 |
| 延近 康平        | 京都大学大学院<br>理学研究科                     | 大学院生            | H23.4～<br>H25.3                |
| 阪井 裕美子       | 同上                                   | 大学院生            | H24.4～<br>H27.3                |
| 高田 智功        | 同上                                   | 大学院生            | H24.4～<br>H26.3                |
| 恒川 雅年        | 同上                                   | 大学院生            | H26.4～<br>H27.3                |
| 太田 奈津美       | 同上                                   | 大学院生            | H26.4～<br>H27.3                |
| Teh Ooi-Kock | 同上                                   | 特定研究員           | H24.10～<br>H25.4               |
| 門脇千穂         | 同上                                   | 大学院生            | H26.4～<br>H27.3                |

#### 研究項目

- ・オイル蓄積制御:グルタチオンによる油糧植物のオイル蓄積制御機構の解明とその応用技術開発

#### ⑦オイル蓄積制御グループ(2)(西村・基生研グループ)

##### 研究参加者

| 氏名    | 所属           | 役職        | 参加時期                        |
|-------|--------------|-----------|-----------------------------|
| 西村 幹夫 | 基礎生物学研究所     | 教授        | H21.10～<br>H27.3            |
| 林 誠   | 同上<br>長浜バイオ大 | 准教授<br>教授 | H21.10～H25.3<br>H26.4～H27.3 |
| 真野昌二  | 基礎生物学研究所     | 助教        | H26.4～<br>H27.3             |
| 金井 雅武 | 同上           | 研究員       | H22.4～<br>H27.3             |

#### 研究項目

- ・オイルボディ分解不全変異体の解析
- ・オイル合成期間延長の分子機構の解析
- ・オイル分解を抑制させた形質転換ダイズ株の確立
- ・オイル分解を抑制した形質転換ダイズの評価および解析

⑧バイオマス蓄積制御グループ(1) (高部グループ)

研究参加者

| 氏名     | 所属        | 役職        | 参加時期              |
|--------|-----------|-----------|-------------------|
| 高部 圭司  | 京都大学農学研究科 | 教授        | H21. 10～          |
| 吉永 新   | 京都大学農学研究科 | 助教        | H21. 10～          |
| 栗野 達也  | 京都大学農学研究科 | 助教        | H21. 10～          |
| 大野 隆史  | 京都大学農学研究科 | CREST 研究員 | H22. 3～           |
| 越久 由美子 | 京都大学農学研究科 | 技術補佐員     | H22. 7～           |
| 山田 祐記子 | 京都大学農学研究科 | 技術補佐員     | H23. 4～<br>H24. 3 |
| 津山 濯   | 京都大学農学研究科 | D3        | H23. 1～<br>H25. 3 |
| 吉浦 啓介  | 京都大学農学研究科 | D3        | H23. 1～<br>H25. 3 |
| 木尾 真知子 | 京都大学農学研究科 | M2        | H23. 4～<br>H24. 3 |
| 清都 晋吾  | 京都大学農学研究科 | D2        | H23. 4～<br>H25. 3 |
| 塩田 彩   | 京都大学農学研究科 | D1        | H23. 4～<br>H25. 3 |
| 藤本 万莉子 | 京都大学農学研究科 | M2        | H22. 7～<br>H24. 3 |
| 大久保 有理 | 京都大学農学研究科 | M2        | H23. 4～<br>H25. 3 |
| 上森 真広  | 京都大学農学研究科 | M2        | H23. 4～<br>H25. 3 |
| 鈴木 沙季  | 京都大学農学研究科 | M2        | H23. 4～<br>H26. 3 |
| 田中 涼   | 京都大学農学研究科 | M2        | H23. 4～<br>H26. 3 |
| 檜垣 綾乃  | 京都大学農学研究科 | M2        | H23. 4～<br>H26. 3 |
| 西根 祥太  | 京都大学農学部   | M2        | H24. 4～<br>H27. 3 |
| 早川 正   | 京都大学農学部   | M2        | H24. 4～<br>H27. 3 |

|        |           |    |                   |
|--------|-----------|----|-------------------|
| 満安 京輔  | 京都大学農学部   | M2 | H24. 4～<br>H27. 3 |
| 平田 絵理  | 京都大学農学部   | B4 | H23. 4～<br>H26. 3 |
| 高川 史香  | 京都大学農学部   | M1 | H24. 4～           |
| 安部 翔平  | 京都大学農学部   | M1 | H25. 4～           |
| 高居 知弘  | 京都大学農学部   | B4 | H25. 4～           |
| 星川 慎一郎 | 京都大学農学部   | M1 | H25. 4～           |
| 山下 大地  | 京都大学農学研究科 | D1 | H26. 4～           |
| 辻井 珠奈  | 京都大学農学部   | M1 | H26. 4～           |
| 酒井 健吾  | 京都大学農学部   | B4 | H26. 4～           |
| 弓場 汐莉  | 京都大学農学部   | B4 | H26. 4～           |

#### 研究項目

- ・バイオマス蓄積制御:グルタチオンによる木質バイオマスの蓄積制御機構の解明とその知見を利用した応用開発(ユーカリ、ポプラ、針葉樹)

⑨バイオマス蓄積制御グループ(2) (河岡グループ)

研究参加者

| 氏名     | 所属             | 役職    | 参加時期              |
|--------|----------------|-------|-------------------|
| 河岡 明義  | 日本製紙アグリ・バイオ研究所 | 所長    | H21.10～<br>H27.3  |
| 松永 悦子  | 同上             | 主席研究員 | H21.10～<br>H26.3  |
| 田邊 稔明  | 同上             | 主席研究員 | H21.10～<br>H27.3  |
| 南藤 和也  | 同上             | 主任研究員 | H21.10～<br>H27.3  |
| 林 和典   | 同上             | 主任研究員 | H21.10～<br>H26.6  |
| 小野木 晋一 | 同上             | 主任研究員 | H23.10～<br>H27.3  |
| 福田 雄二郎 | 同上             | 主任研究員 | H24.1～<br>H27.3   |
| 金子 令治  | 同上             | 主任研究員 | H25.12～<br>H27.3  |
| 根岸 直希  | 同上             | 主査    | H21.10～<br>H27.3  |
| 和才 昌史  | 同上             | 主査    | H23.10～<br>H27.3  |
| 新屋 智崇  | 同上             | 主査    | H23.10～<br>H27.3  |
| 中浜 克彦  | 同上             | 主査    | H23.10～<br>H27.3  |
| 浦田 信明  | 同上             | 研究員   | H24.1～<br>H27.3   |
| 陶山 健一郎 | 同上             | 研究員   | H25.12～<br>H27.3  |
| 高島 春奈  | 同上             | 派遣研究員 | H21.11～<br>H22.2  |
| 小平 美奈  | 同上             | 派遣研究員 | H22.3～<br>H27.3   |
| 清水 圭一  | 日本製紙 技術企画部     | 主席調査役 | H22.10～<br>H27.3  |
| 杉山 慎治  | 同上             | 主査    | H22.10～<br>H23.12 |
| 望月 勇志  | 同上             | 主査    | H22.10～<br>H23.12 |

研究項目

- ・有用遺伝子の樹木における評価
- ・グルタチオンの樹木への応用
- ・グルタチオンの発根促進に対する効果

⑩バイオマス蓄積制御グループ(3) (関グループ)

研究参加者

| 氏名     | 所属                       | 役職      | 参加時期             |
|--------|--------------------------|---------|------------------|
| 関 原明   | (独) 理化学研究所<br>植物科学研究センター | チームリーダー | H23.11～<br>H25.3 |
| 内海 好規  | (独) 理化学研究所<br>植物科学研究センター | 特別研究員   | H24.4～<br>H25.3  |
| 内海 稚佳子 | (独) 理化学研究所<br>植物科学研究センター | パートタイマー | H24.4～<br>H25.3  |

研究項目

- ・グルタチオン施用によるキャッサバの生産性評価
- ・グルタチオン技術関連遺伝子導入によるキャッサバの生産性評価

⑪バイオマス蓄積制御グループ(4) (Ham グループ)

研究参加者

| 氏名              | 所属                                 | 役職  | 参加時期            |
|-----------------|------------------------------------|-----|-----------------|
| Le Huy Ham      | Agricultural Genetics<br>Institute | 所長  | H25.4～<br>H27.3 |
| Nguyen Van Dong | Agricultural Genetics<br>Institute | 副所長 | H25.4～<br>H27.3 |
| Nguyen Anh Vu   | Agricultural Genetics<br>Institute | 研究員 | H25.4～<br>H27.3 |
| Vu Hoang Nam    | Agricultural Genetics<br>Institute | 研究員 | H25.4～<br>H27.3 |
| Vu Anh Thu      | Agricultural Genetics<br>Institute | 研究員 | H25.4～<br>H27.3 |

研究項目

- ・グルタチオン施用によるキャッサバの生産性評価

(2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

国内: 研究グループの大学や研究機関に加えて、情報交流や共同研究は CREST プロジェクト開始前よりも増加した。特に、本プロジェクト実施中に行った試験でグルタチオン技術の有効性を試験結果で実感した人たちがさらなる展開に向けて協力体制を申し出ている。メーカーだけでなく、社会実装に重要な位置を占めるエネルギー会社や商社との連携も強化されたと思う。

国外: 大学、国営農場、政府研究機関、企業、非営利農業協会 (JA と似た組織、TTDI やベトナムキャッサバ協会など) など、アジア<中国、台湾、ベトナム、タイ、インドネシア、マレーシア、インド>、オーストラリア、カナダ、ブラジル、ヨーロッパ<イギリス、フランス、ドイツ>などで試験地を中心にネットワークが広がった。技術の普及に向けて大きな足掛かりである。

またなかでも、ゆっくりではあるが、JAXA との連携で本 CREST で開発された原理の宇宙利用を目指して具体的に動いていることは、このプロジェクトの当初では想定されていなかった新しい展開である。

### § 3 研究実施内容及び成果

#### 4. 1 光合成・転流制御(岡山県農林水産総合センター生物科学研究所 小川グループ)

##### (1)研究実施内容及び成果

当グループでは、グルタチオンの施用モデル系をシロイヌナズナで構築し、そのモデル系を用いてメカニズム解明を図り、その知見をダイズやユーカリ、ポプラ、キャッサバなどで普遍性の評価を行った。また、実際のフィールドで試験を行い、開発技術のポテンシャルを評価した。当グループは、チーム全体の共同研究の総括を行う立場にもある。

シロイヌナズナでのモデル実験系では、グルタチオンによる群落としての生産性の向上の要因は、気孔密度と開口度の制御による CO<sub>2</sub> 供給促進、光化学系の増強と光利用効率の大幅な向上と、CO<sub>2</sub> 固定回路の活性化と量的増強による CO<sub>2</sub> 同化の促進、窒素栄養の取り込み促進にあることが判明した。さらに、窒素の利用効率の向上も重要な要因として特定した。

シロイヌナズナでは、気孔数を制御する遺伝子 stomagen との相乗効果は見出されず、グルタチオン投与で十分に気孔が制御できると考えられた。フィールドで試験したユーカリでも気孔数の向上傾向が認められたことから、グルタチオンが生産性を高めるメカニズムの一つである。

グルタチオン投与による代謝変化や遺伝子発現の変化は、表現型を説明できるものであった。ピアソンの相関解析から、グルタチオン投与で共発現する遺伝子群が明らかとなったが、なかでも糖飢餓状態で発現する遺伝子群の挙動は、透過型電子顕微鏡観察で葉内デンプン蓄積の著しい低下と矛盾しない結果であり、トレーサー実験による転流の促進等の結果との整合性がある結果であった。植物の光合成活性は、午前中を中心に高く、葉に同化産物が蓄積する午後は低下することが知られているが、グルタチオンを投与された植物は転流が促進されることで光合成の負のフィードバックを受けにくく、その結果、生産量の向上にも寄与するというものである。負のフィードバック制御を受けない場合の光合成活性も向上していることも重要な点ではある。また、網羅的な遺伝子発現解析からは、植物生理では古くからの研究対象になっている春化という現象とグルタチオンが深く関わる事が明確になった。従来は、その現象に関わる遺伝子が明らかにされてきたが、実際にそれらの遺伝子を動かすものが何であるかは不明確であった。グルタチオンは春化条件で量的にも酸化還元状態としても動く内生因子であるが、グルタチオン合成の遺伝子導入による制御により発現が変化した遺伝子は、春化(冬を経験して初めて、花や穂をつける現象)条件で挙動する遺伝子と一致することが明らかになった。これはグルタチオンで種子収量が大幅に向上することを説明できる発見である。

投与したグルタチオンは酸化型 GSSG と還元型 GSH では、異なる効果が認められた。葉への投与と根からの投与では、効果が違うことも明らかになった。グルタチオンによる光合成促進効果は投与葉だけでなく非投与葉でも認められたが、転流促進効果と一致した傾向ではなかったことから、単にグルタチオンが投与葉から非投与葉に移行したのではなく、未知のシステム的なシグナル伝達機構が存在することも明らかになった(炭素動態:小川 G、藤巻 G と共同、グルタチオンのトレーサー実験:田野井 G。最終繰り返し実験 10 月 27 日ののち再投稿予定)。転流の制御は諸説があるが、今回の結果は、これまでの諸説では説明できない結果であり、具体的な転流制御因子を見出した世界で初めての結果である。

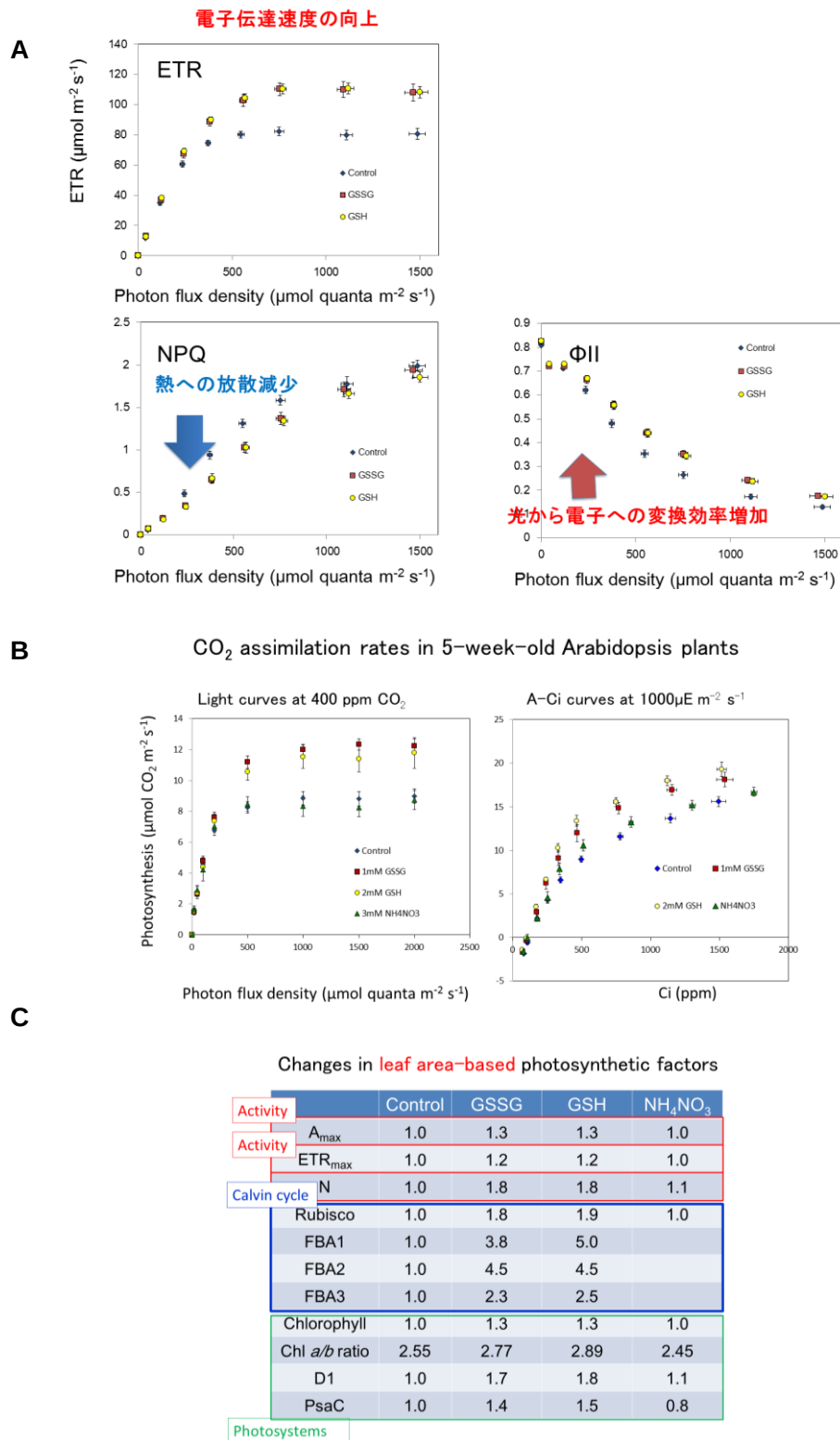


図1 グルタチオン施用による光合成への影響

**A** 光合成蛍光解析の結果

ETR、電子伝達速度；NPQ、熱への放散量の指標；ΦII、光合成に利用したエネルギー量の指標

**B** CO<sub>2</sub>アナライザーによるCO<sub>2</sub>固定能力の評価

Ci：葉内CO<sub>2</sub>濃度

### C 光合成系構成要素と光合成電子伝達速度、CO<sub>2</sub>固定速度の関係

グルタチオン施用個体を無施用個体と比較した。光合成電子伝達速度（ETR）とCO<sub>2</sub>固定速度（A）とクロロフィル量、クロロフィル a/b 比、光化学系 I と II タンパク質、CO<sub>2</sub>固定系タンパク質を比較したが、光集光装置のサイズが小さいにもかかわらず、光化学系 I の量が増し、NPQ が低下していることから、グルタチオン施用は単純にCO<sub>2</sub>固定回路の能力を高めているわけではなく、光化学系の増強を伴うことが判明した。

グルタチオン施用によるCO<sub>2</sub>固定の促進は、増強された光化学系と受光した光エネルギーの熱エネルギーへの放散の抑制による光利用効率の向上、CO<sub>2</sub>固定回路の活性化と量的な増強によると考えられた（図1）。藻類でも、類似の表現型、特に光利用効率が向上する表現型が観察されたことから、この機構は藻類から陸上植物まで普遍と考えられた。H25 年度には、シロイヌナズナの組換え体を利用して、グルタチオンによる光合成の光利用効率変化を親株と比較可能な可視画像化に成功した（図2）。H26 年度は、こうした変異体の復帰変異を同定すべく、シロイヌナズナとクラミドモナスを用いてスクリーニングを行った。

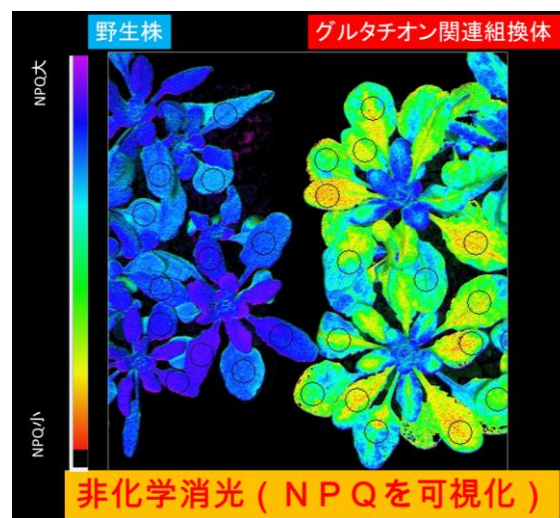


図2 GSH1遺伝子導入による光利用効率の変化を可視化

非化学消光 (Non-photochemical quenching) を GSH1 導入シロイヌナズナとその親株で比較した。クロロフィル蛍光を利用し、光エネルギーから光合成電子伝達に利用するエネルギーへの転換率が低下し、熱への放散量が増大すると NPQ が増大することを利用して、この NPQ の形成の差を2次元で比較した。GSH1 導入株は野生型に比べ、明らかに光利用効率が高いことが分かる。

集光装置のないシロイヌナズナにグルタチオンを投与<窒素等量で窒素源の数%程度の投与量>することで、生育が改善されることを報告していたが、CO<sub>2</sub>濃度の上昇によって達成されるものであることが明らかになった。シロイヌナズナの生育には適当な100  $\mu$  E/m<sup>2</sup>/s 程度の弱光でも光化学反応はCO<sub>2</sub>固定の律速要因になっていないことが明確になった。一方、こうした植物は、反応中心だけで、光を受容しており、反応中心の数を増やしてエネルギー確保を行っている。これは、グルタチオン投与で反応中心の数が増加したが、集光装置の大きさ(クロロフィル a/b 比の逆数)を小さくしていたこととよく似ており、集光装置の農業的意義の再議論を呼び起こす結果となった。

グルタチオン投与により光化学系もCO<sub>2</sub>固定系も増強されていたが、その主要因は葉身窒素の上昇である。フィールド試験地での窒素含量の向上や根の形態的变化や安定同位体<sup>15</sup>Nラベルした無機窒素のトレーサー実験から、いろいろな植物で、グルタチオンで土壌窒素栄養成分の取り込みが向上することが判明した。メタボローム解析等とグルタチオン結合タンパク質情報との比較から候補遺伝子を絞り込み、その変異体でのグルタチオンの効果を試験したところ、グルタチオン投与によるバイオマス生産性の向上効果が低下しており、特に種子に関する向上効果が



ほとんど認められなくなった。

グルタチオンと結合し、その活性が制御されるアルドラーゼ FBA1 については、低栄養条件下でもバイオマス量を保つことができ、同時期に報告された CO<sub>2</sub> 固定回路遺伝子とは異なる性質で CO<sub>2</sub> 固定促進に寄与していることが明らかになった(小川 G。FBA は、国際光合成会議で、光合成の改良のための3つのターゲットの一つに選ばれた)。FBA1と FBA3 は、結晶化まではいたっていないものの、その比活性は、これまでに重回帰で理論的に出された高い活性を裏付けるところまでたどり着いた。その FBA1 を導入した植物体の葉面積あたりの光合成活性が向上することが確認できただけなく、従来からカルビン回路酵素として知られていた FBA3 では葉面積あたりの光合成能力を増強できないというデータを確認した。さらに、FBA1 は光合成活性だけでなく、転流も促進させることができることが明らかになった。これも FBA3 では認められない効果であった。転流と光合成は独立に制御される可能性があるのに対して、その接点が FBA1 にあることは、今後の解析上非常に重要である。

開発技術のポテンシャル評価について、小川 G はベトナム G や国内外協力機関と共同でキャッサバ等のフィールド試験を行った。また、ユーカリフィールド試験は、河岡 G と高部 G、小川 G 共同で実施し、開発技術のポテンシャルを評価した。木本では、畑作物に比べ、明確な適期が見いだせていない状態であるが、最大3割程、おおよそ1から1.5割程度のバイオマスの増収が認められた。畑作は、特に芋での増収が著しかったが、10%~100%まで幅広い結果が得られた。今回の研究では、グルタチオン投与効果を最適化できる技術を開発したので(植物の生産性を予測・管理する技術の開発)、今後はそれを活用する。2011 年の世界と日本の CO<sub>2</sub> 排出量は、それぞれ31.8ギガトンと1.2ギガトンと見積もられる。単純な CO<sub>2</sub> 換算でいうと10%程度の人工林の成長促進でも、約0.5ギガトンの固定促進(LCA は勘案なし)で、トウモロコシやダイズ、イネ、コムギ等の主要な作物も同様に促進された場合は、ほぼ日本の排出量を賄うポテンシャルである。実際には、2割から5割程度の結果が中心であり、最適化なしの現状でも、日本の排出量を完全にカバーできるだけのポテンシャルがある。

組換え体の結果では、シロイヌナズナでの試算にはなるが、グルタチオン施用と組み換え技術の併用により油脂含量1.5倍である。グルタチオン施用での面積当たり最大収量は2~5倍程度(ベースの値をどこにとるかで、最大倍率は変わる)である。ダイズの油脂含量はシロイヌナズナと近い値であり、フィールドレベルでも非組換え体で3割程度の増収も確認できていることから、楽観的には、面積当たりの油脂生産性は、 $1.5 \times 1.3$ で現状の2倍近い値が期待できる結果となった。また、現状は残念ながら十分に最適化されていないことから、さらに高い生産性が期待できる。従来の他の技術を見渡して面積あたりで、10%程度(良くて~20%程度)増収できる技術が存在するが、それは施設栽培に限り CO<sub>2</sub> 施肥ぐらいである。畑作にあたっては1%の増収も難しいとされる中での結果であり、将来に渡り、本開発の方向性は極めて有効と考えられた。

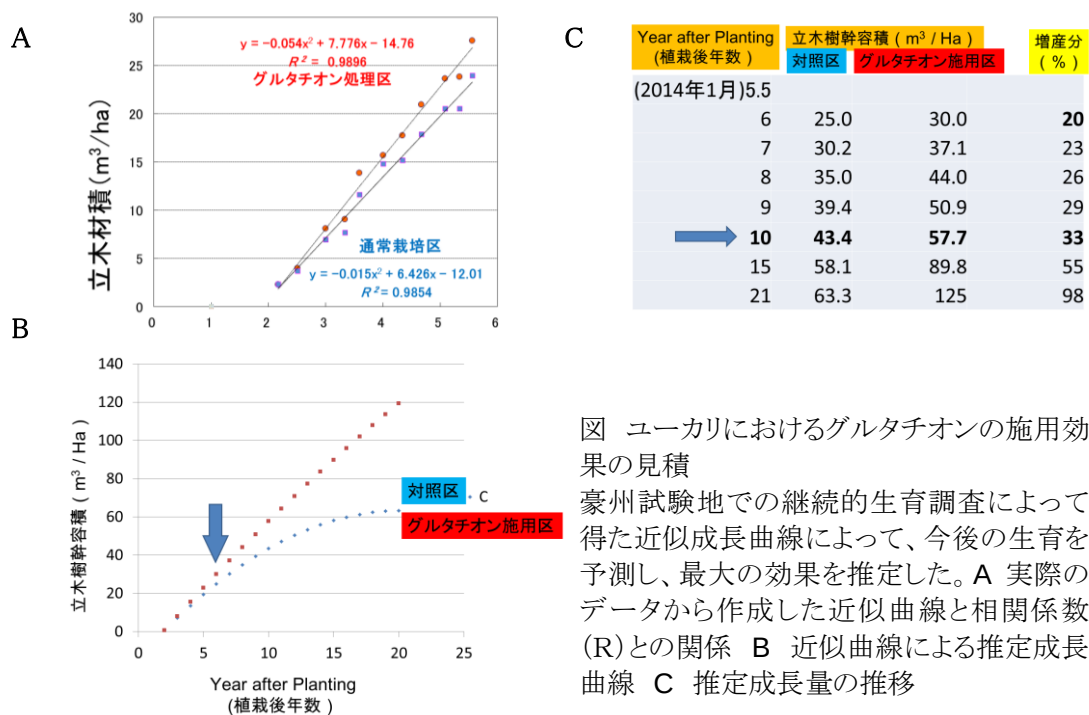


図 ユーカリにおけるグルタチオンの施用効果の見積  
豪州試験地での継続的生育調査によって得た近似成長曲線によって、今後の生育を予測し、最大の効果を推定した。A 実際のデータから作成した近似曲線と相関係数(R)との関係 B 近似曲線による推定成長曲線 C 推定成長量の推移

### 植物の生産性を予測・管理する技術の開発

グルタチオンの効果と関係する因子を特定し、そのモニター方法を開発した。その因子は、植物の生産性と非常に密接な関係にあり、光合成活性とも密接な関係なることを見出した。現状では、生産性を考慮したグルタチオンの最適な投与時期や育種への応用が考えられるが、グルタチオン投与と関係なく、生産性を予測できるため、グルタチオン技術と無関係に生産性の管理技術としても有望である(国内では、特許査定。国際特許出願中)

### 藻類を用いた超微粒子デンプンおよび油脂の生産技術

微細藻クラミドモナスは、その細胞内に大きな葉緑体を持ち、高等植物の光合成モデル細胞として利用され、形質転換も可能である。そこで、この細胞を用いてグルタチオンによる光合成能力の促進に関わる遺伝子を取得することを目的に、グルタチオン合成能を増強した組換え体を作製したところ、全く予想外の出来事が起きた。従来、微細藻類では、デンプンや油脂の高生産を実現するためには、窒素栄養欠乏等の培地条件の変更や回収・精製の工程が必要とされた。しかしながら、作出した形質転換体は、通常の生育良好な条件でもデンプンや油脂の高生産が可能で、一般的には栄養欠乏時の栄養素の再回収のために用いられるオートファジーという自食システムを通常の生育条件で駆動させており、生産したデンプン粒が自然に放出された。つまり、これまでに微細藻類の生産工程で問題視されてきた、生産物の回収と精製を極めて簡便化できる技術が生み出されたのである。現在、本技術はJSTから国際特許出願中であり、実用開発を行っている。また、さらに生産性を高める技術についても特許出願した。

#### 4. 2 (光合成・転流制御: 日本原子力研究開発機構 藤巻グループ)

##### (1) 研究実施内容及び成果

担当グループでは、光合成産物の植物体内における輸送の様子を非破壊的に画像化することが可能な、炭素 11 標識二酸化炭素 ( $^{11}\text{CO}_2$ ) トレーサーの製造・投与技術とポジトロンイメージング装置 (positron-emitting tracer imaging system; PETIS) を有しており、この高度化を進めてきた。本 CREST 研究においては、様々な植物の系において、葉での炭素固定と葉から子実等への転流のそれぞれにグルタチオンまたは関連遺伝子が独立に与える影響を、安定して精度よく定量的に評価することが求められた。具体的には次のような課題を掲げ、これらを解決した。

##### ① 多様な植物種に対応した RI トレーサー投与技術とイメージング手法の確立

ダイズ、シロイヌナズナ、交雑ヤマナラシ (ポプラ)、ユーカリを対象に、 $^{11}\text{CO}_2$  ガストレーサを正確かつ安定的に投与するためのシステム等を開発した。その結果、これらの植物種における炭素固定および転流の様子を画像化することに成功した (図 1)。

##### ② 炭素固定と転流の活性を表す指標を動画像データから抽出する手法の定式化

$^{11}\text{CO}_2$  ガストレーサを葉面に十分な流量で通過させてパルス投与し、葉面に残った  $^{11}\text{C}$  のシグナル強度を「炭素固定速度」の指標とした。葉面から葉柄を通して光合成産物が流出するのに伴い、1 時間経過後にシグナル強度が減少する割合を「転流率」の指標とした (論文 Kawachi et al., 2011)。

##### ③ 酸化型/還元型グルタチオンの短期的効果の解明

上記(1)(2)の技術を用いて、酸化型グルタチオン (GSSG) と還元型グルタチオン (GSH) のダイズ本葉への噴霧が、ごく短時間のうちに炭素固定と転流にもたらす影響について、次のことなどが明らかになった (図 2)。

- ・GSSG と GSH のいずれも、噴霧からわずか 5 時間後には、葉からの光合成産物の転流量 (炭素固定量 × 転流率) の上昇をもたらす (それぞれ 1.29 倍、1.25 倍)。
- ・ただし、GSSG は炭素固定速度 (1.16 倍) の、GSH は転流率 (1.25 倍) の上昇を主にもたらす。このことは、促進メカニズムの違いを示唆する。
- ・これらの促進効果は直接噴霧していない葉にも及ぶ。このことは、促進に関わる何らかのシグナルの全身的な伝達と、短時間 (長くとも 5 時間以内) での効果の発現を示唆する。

##### ④ グルタチオンの作用の鍵となることが目される遺伝子 FBA1 の過剰発現株の解析

本 CREST 課題の他のサブグループにおいて研究が進められている、カルビンサイクルにおいてグルタチオンが直接作用すると推定される酵素タンパク質 FBA1 の機能を明らかにするために、シロイヌナズナ由来 *AtFBA1* 遺伝子を過剰発現させたダイズ、および対照として *AtFBA3* 遺伝子を過剰発現させたダイズ、ならびに WT における炭素固定速度と転流率の比較を行った。その結果、*AtFBA1* 過剰発現株では WT に比べ炭素固定速度が 11% 上昇 (6 個体 18 小葉の平均) していたのに対し、*AtFBA3* 過剰発現株では有意差は認められなかった。この結果は、グルタチオンの投与が FBA1 を活性化することによって炭素固定速度が上昇するというメカニズム仮説を支持するものである。

##### ⑤ 多数のシロイヌナズナ幼少個体を対象とした統計的評価が可能な実験系の確立

平板培地で育成したシロイヌナズナを対象に、 $^{11}\text{CO}_2$  ガストレーサを均一に投与して得られた動画像データ (図 3) を元に、炭素固定速度と転流率の定量を行った。その結果、炭素固定速度については播種後わずか 16 日以降、転流率についても播種後 20 日以降の個体に対して、精度良く評価できることが示唆された (図 4)。ポット栽培のシロイヌナズナに対しても、同様の実験系を開発した。これらにより、グルタチオンの作用の分子メカニズムの解明に向けて、ダイズの系よりも迅速な遺伝的解析が期待できる。

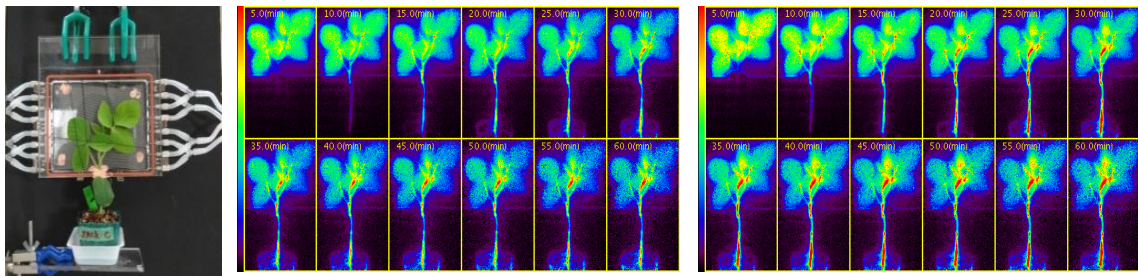


図 1 左：ダイズ本葉に  $^{11}\text{CO}_2$  ガストレーサを投与する「セル」、中央：GSH 投与前、右：GSSG 投与 5 時間後の炭素動態。 $^{11}\text{C}$  の半減期は 20 分と短いため、同一個体についての精度の良い解析が可能となった。

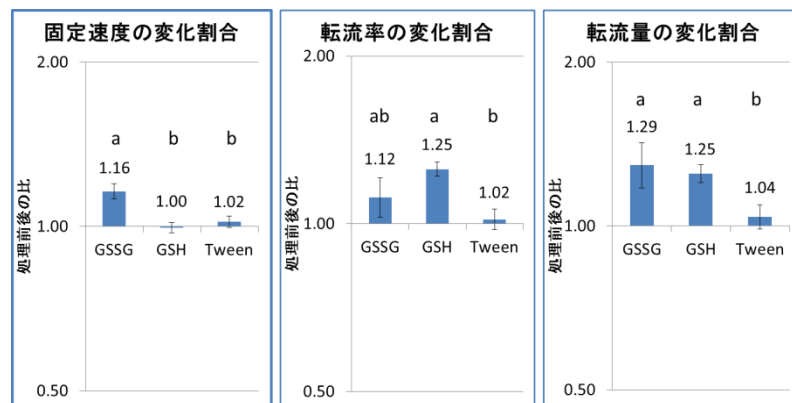


図 2 動画像データから算出した GSSG、GSH、Tween（展着剤のみの対照）噴霧 5 時間後の効果。各区 6 個体、合計 33~39 枚の小葉の解析結果をまとめたもの。異なるアルファベットは有意差（ $P < 0.05$ ）を表す。

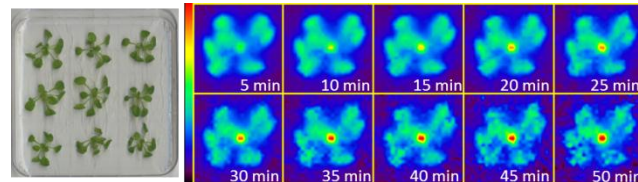


図 3 平板培地上のシロイヌナズナを対象に撮像した炭素動態。時間と共に光合成産物が葉身から中央部に転流している。

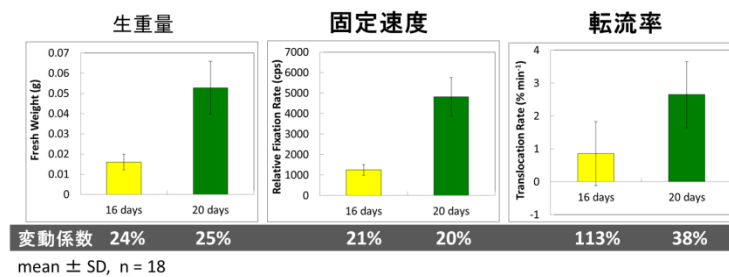


図 4 平板培地上のシロイヌナズナのイメージングから算出した固定速度と転流率の精度。固定速度のばらつきは、生重量の個体間差と同程度に抑えられている。

#### 4. 3 光合成・転流制御(北海道大学 山田グループ)

##### 光合成および転流の増強ならびにオイル含量の増大に関わるダイズ形質転換体の作出

本テーマは各グループが必要とするダイズ形質転換体の作出およびそれらの提供を行った。特に、光合成および転流の増強ならびにオイル含量の増大を目的に他の植物種に由来する遺伝子ならびにダイズに内在する遺伝子の過剰発現を試みた。一部、ダイズに内在する遺伝子についてはRNAiを介した発現抑制個体も作出した。また、貯蔵タンパク質を減少させるため amiRNA を介した発現抑制個体も作出した。加えて、グルタチオンやホモグルタチオンの組成に関連する遺伝子の機能解析を含めた形質転換体の作出も併せて行った。本テーマで作出したダイズ形質転換体の一覧は下記の表 1 のとおりである。

下表にある *GPT* および *PPT* 遺伝子は、グルコース 6-リン酸とホスホエノールピルビン酸をそれぞれ脂肪酸生合成の場であるプラスチドに輸送するトランスロケーターをコードしており、過剰発現により脂肪酸生合成の強化が期待された。これらの形質転換体を分析したところ、導入遺伝子の過剰発現が認められ、特に *PPT* 遺伝子を過剰発現したものに関してはコントロール個体と比べ、種子の乾燥重あたり数%オイル含量が増加していた(図1)。中でも、オレイン酸とリノール酸の含量が増加することが明らかとなった(図 2)。この結果から、光合成同化産物のプラスチド内への取り込みを強化することで脂肪酸の生合成が促進され種子におけるオイル含量が増強できることを明らかにした。

また、ダイズにおけるグルタチオンとホモグルタチオンの生合成に直接関与すると考えられる *GSH2* および *hGSH2* 遺伝子の発現を野生型の植物において確認したところ、*GSH2* 遺伝子は根粒組織において特異的に強い発現を持つことが明らかとなった。しかしながら、*GSH2* 遺伝子のプロモーター解析から根粒特異的な発現を十分に説明できる結果は得られなかった。

表1. プロジェクト内で作出したダイズ形質転換体

| 目的遺伝子              | 目的遺伝子の由来 | 発現の方法       |
|--------------------|----------|-------------|
| <i>chlGSH1</i>     | アラビドプシス  | 過剰発現        |
| <i>cytGSH1</i>     | アラビドプシス  | 過剰発現        |
| <i>FBA1</i>        | アラビドプシス  | 過剰発現        |
| <i>FBA3</i>        | アラビドプシス  | 過剰発現        |
| <i>LAI</i>         | アラビドプシス  | 過剰発現        |
| <i>Stomagen</i>    | アラビドプシス  | 過剰発現        |
| <i>Stomagen</i>    | ダイズ      | 過剰発現        |
| <i>EPF2</i>        | アラビドプシス  | 過剰発現        |
| <i>OL-GFP</i>      | アラビドプシス  | 過剰発現        |
| <i>SDP1</i>        | ダイズ      | 発現抑制        |
| <i>WRI1</i>        | ブラシカ     | 過剰発現        |
| <i>GPT</i>         | ダイズ      | 過剰発現        |
| <i>PPT</i>         | ダイズ      | 過剰発現        |
| <i>7S globulin</i> | ダイズ      | 発現抑制        |
| <i>GSH2</i>        | ダイズ      | 発現抑制        |
| <i>hGSH2</i>       | ダイズ      | 発現抑制        |
| <i>GSH2pro</i>     | ダイズ      | リポーター遺伝子の発現 |

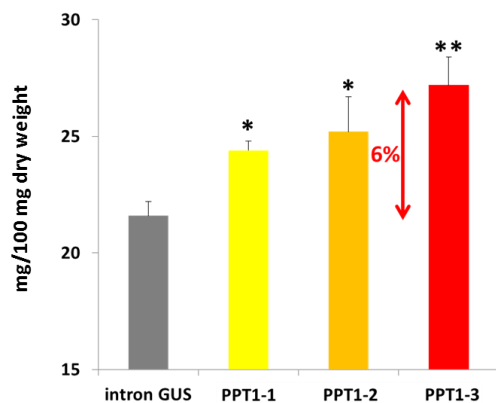


図1. PPT遺伝子を過剰発現したダイズのオイル含量

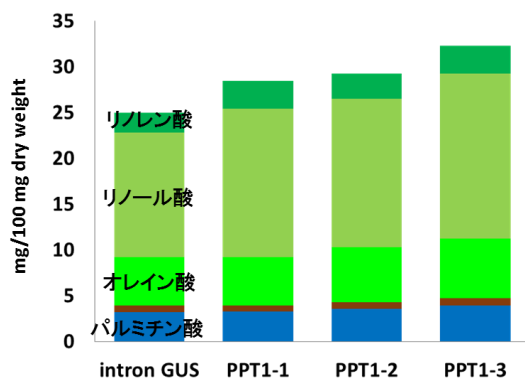


図2. PPT遺伝子を過剰発現したダイズの脂肪酸組成

#### 4. 4 光合成・転流制御（東京大学 中西／田野井グループ）

##### (1)研究実施内容及び成果

・水耕栽培を用いた、コマツナおよびダイズにおけるグルタチオン施用効果の観察

(背景)グルタチオンの施用効果について、実際の農地や土耕栽培、アガロース培地では確認されてきた。その濃度は mM レベルであることから、グルタチオンの効果として、グルタチオンに含まれる窒素や硫黄が養分として寄与している可能性が残されていた。そこで、根圏のグルタチオン濃度をコントロールできる水耕栽培を採用し、どのような濃度でグルタチオン施用効果があるかについて調べた。

(結果)シロイヌナズナを用いて、GSH,GSSH とともに 1μM から 1mM の範囲で水耕栽培したところ、1-20μM 付近にて種子収量が増加した。さらに、GSSG についてコマツナ、ダイズでも実施したところ、ともに 2 μ M といった非常に低い濃度で効果があることがわかった。この結果は、GSSG の生育促進効果が、GSSG に含まれる窒素が硫黄が養分として寄与している、というよりは、GSSG に何らかの生理活性機能が存在することを表している。さらに、このような濃度で効果があるということは、植物工場での適用のみならず一般圃場においてもグルタチオンの施用を農業に利用することが十分効果的であることを示した。

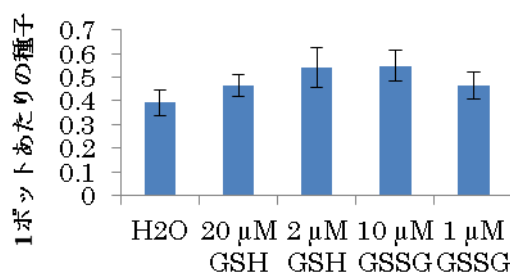


図1 シロイヌナズナにおけるグルタチオンの収量効果

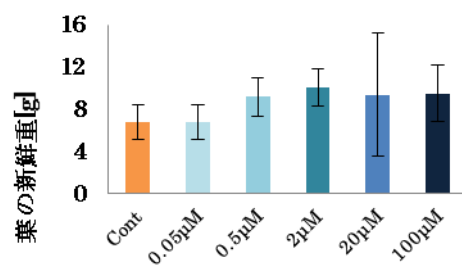


図2 コマツナにおけるGSSG

・<sup>35</sup>S ラベルグルタチオンを用いたトレーサー実験

(背景)根や葉に施用したグルタチオンの効果により、バイオマスが増加することが本 CREST 研究で明らかとなってきた。しかし、施用したグルタチオンがどのような濃度でどの組織へ移行しているか、については不明である。そこで、本課題では、放射性同位体である <sup>35</sup>S で標識した酸化型グル



タチオンを用いて、トレーサー実験を実施した。

経根もしくは葉面吸収にて植物に施用した後、各部位中の放射性物質濃度を測定した。

(結果)コマツナにおいて、0.1mM の GSSG を  $^{35}\text{S}$  でラベルして 15 分から 1 時間まで投与した。植物体を回収して含まれる GSSG を測定したところ葉から検出された  $^{35}\text{S}$ -GSSG は、最大で 0.0001 $\mu\text{mol/gFW}$  であった。また、ダイズの葉に葉面吸収した  $^{35}\text{S}$ -GSSG を 4 時間後に検出したところ、 $^{35}\text{S}$  のおよそ 1% が新葉へ移行していた。また、その内、およそ 25% が GSSG であることが判明した。よって、投与した GSSG のうち、数時間でもおよそ 0.25% が GSSG として移行していた可能性が示された。ダイズ葉の GSH の内生量は、7 nmol/gFW 程度であり、GSSG はさらに少なく、0.1~0.4 nmol/gFW 以下程度であるが、RI 標識で検出された GSSG は 4 時間で既に内生量と匹敵するレベルに達していた。

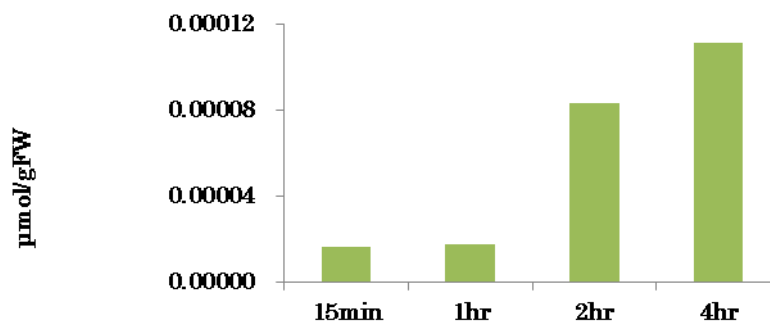


図3 コマツナ地上部の $^{35}\text{S}$ -GSSG濃度の時間変化

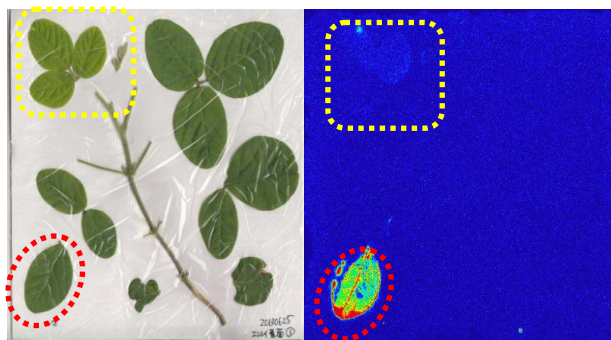


図4 ダイズの $^{35}\text{S}$ -GSSG のオートラジオグラム

$^{35}\text{S}$ -GSSG 投与 4 時間後の図

黄色で示した新葉で  $^{35}\text{S}$  のシグナルが見られた。

この  $^{35}\text{S}$  シグナルの 1/4 が  $^{35}\text{S}$ -GSSG であった。

#### 4.5 光合成・転流制御 (福島県農業総合センター 二瓶グループ)

##### (1)研究実施内容及び成果

##### ・グルタチオン投与によるダイズの生産性の改善効果の評価

グルタチオン(還元型グルタチオン<GSH>と酸化型グルタチオン<GSSG>)の投与時期を変えて、収量との関係を調べた。その結果、開花期と花芽生育時期の投与が花数の増加と結莢数の増加につながり、収量の増加につながると考えられる結果が得られた。しかしながら、東北大震災のため、研究継続が困難になったため、チームから離脱した。

#### 4. 6 オイル蓄積制御(京都大学 西村グループ)

オイル蓄積制御: グルタチオンによる油糧植物のオイル蓄積制御機構の解明とその応用技術開発

##### (1) 研究実施内容及び成果

油量種子のオイルは、種子細胞内のオイルボディに蓄積されている。オイルボディのサイズは、オイルボディ膜タンパク質であるオレオシンの含量と逆相関がある (Shimada et al., 2008)。一方、オレオシン含量と貯蔵脂質含量には正の相関があると報告されている。本課題では、高オイル含量ダイズの作出を目指して、ダイズの主要貯蔵タンパク質グリシニンのプロモーターを用いることにより、種子でオレオシンを過剰発現させた。ここで新たな形質転換方法を確認した。この手法では、オレオシンと GFP の融合タンパク質を過剰発現させることにより、蛍光を指標として形質転換体種子を非破壊的に選抜できると同時に、形質転換種子中のオレオシン発現量を GFP 蛍光で非破壊的に推定できるという利点もある (Shimada et al., 2011; 図 1)。この手法により、形質転換ダイズ (カリユタカ) 全 7 系統を作出した。2014 年秋に収穫する種子を用いて、総脂質含量を測定する。

種子のオイル含量は、栄養成長時の植物体の光合成能力に依存すると考えられる。また、日米ダイズ品種の生産力の比較試験からも、近年のアメリカ産多収ダイズ品種は気孔密度・光合成速度が高いことが報告されている。そこで、大気中の CO<sub>2</sub> の取り込み口である気孔の密度と光合成能力と乾燥耐性との相関をシロイヌナズナで検証した。気孔密度増加因子である stomagen を過剰発現させたシロイヌナズナでは、光合成能力が 30% 上昇することが分かった (Sugano et al., 2013; 図 2)。一方で、stomagen 遺伝子をノックダウンしたシロイヌナズナでは顕著な乾燥耐性が認められた (図 3)。この基礎実験をもとに、ダイズの stomagen 遺伝子を単離し、過剰発現ダイズ (カリユタカ) を作出し、複数の形質転換体を取得した。しかしながら、明らかな光合成能力の向上は認められなかった。

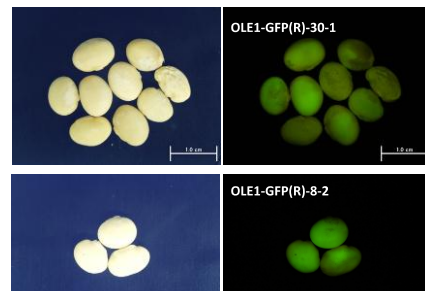


図 1. オレオシン過剰発現ダイズ

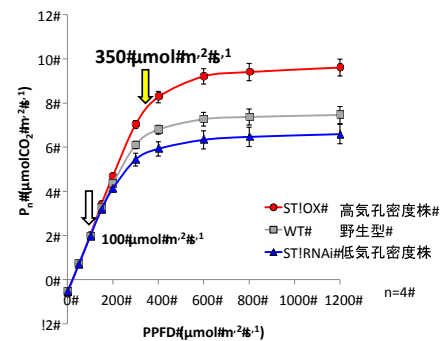


図 2. 気孔密度上昇株は光合成能力が高くなる

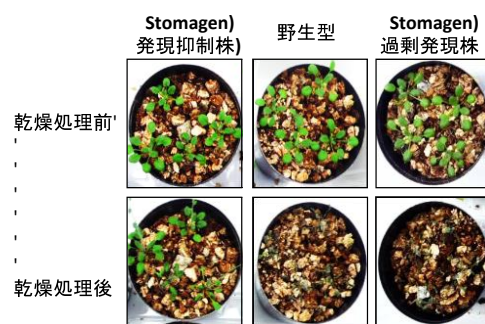


図 3. 気孔密度の減少は乾燥耐性を付与する

#### 4. 7 オイル蓄積制御(基礎生物学研究所 西村/真野グループ)

種子中のタンパク質/油含量の制御機構のさらなる解明によるオイル蓄積促進技術の開発  
(1) 研究実施内容及び成果

##### 目的

本研究の目的は、CO<sub>2</sub> 固定の新規促進機構によって作られたグルコースを効率的にオイル生産に結び付けることである。植物のオイルは、人間の生活においてさまざまな形で利用されており、その利用価値は高い。本研究では、植物体の主要な貯蔵器官である種子における貯蔵物質生産制御の分子機構を解明し、高オイル種子を生産する作物の作出を目指す。



## 実施方法

本研究は、種子におけるオイル分解および合成という両方向から、オイル含量増大に向けた研究を行った。1つ目は、種子登熟期のオイル分解に注目し、登熟中のオイル分解経路を抑制することで、種子のオイル含量を増大させることを目指した(①種子登熟期におけるオイル分解抑制)。2つ目はオイル合成に注目し、種子形成から登熟におけるオイル合成期を伸ばすことで、種子のオイル含量を増大させることを目指した(②オイル合成期の延長)。

## 実施内容・成果

### ①種子登熟期におけるオイル分解抑制

植物種子の主要なオイルであるトリアシルグリセロールは、オイルボディと呼ばれるリン脂質による一層の膜に囲まれた細胞小器官に貯蔵される。モデル植物であるシロイヌナズナを用いて、オイルボディの分解に異常を示す変異体を選抜した。選抜された変異体の原因遺伝子を解析したところ、オイルボディ膜に局在するトリアシルグリセロールリパーゼをコードする遺伝子 *SDPI* が欠損していた。この変異体はトリアシルグリセロールの分解が抑制されており、*SDPI* がトリアシルグリセロール分解酵素として機能することが明らかとなった。

この成果を作物に応用するために、代表的な油糧作物であるダイズを用いた検証を行った。ダイズゲノムからシロイヌナズナの *SDPI* に対して高い相同性を持つ、4つのダイズ *SDPI* 遺伝子 (*GmSDPI-1*~*1-4*) を同定した。これら4つの *GmSDPI* を種子登熟期特異的に発現抑制するための RNAi コンストラクトを開発し、北海道大学の山田哲也博士によって *SDPI* 発現抑制ダイズが作成された。この *SDPI* 発現抑制ダイズを基礎生物学研究所のグロースチャンバーで生育させ、種子を収穫し、野生株との比較を行った。

*SDPI* 発現抑制ダイズの種子数は野生株と同等であったものの、1粒あたりの種子重量が有意に増加しており(図1A)、1粒あたりのオイル含量も増加していた(図1B)。また、興味深いことに種子中の脂肪酸組成も変化しており(図1C)、リノール酸(18:2)が減少し、オレイン酸(18:1)が増加することで、より食用油に適した組成となっていた。

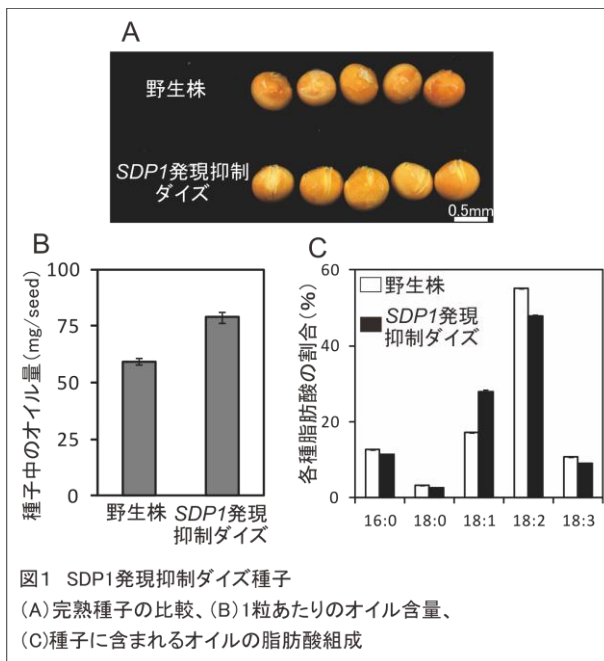


図1 *SDPI*発現抑制ダイズ種子  
(A) 完熟種子の比較、(B) 1粒あたりのオイル含量、  
(C) 種子に含まれるオイルの脂肪酸組成

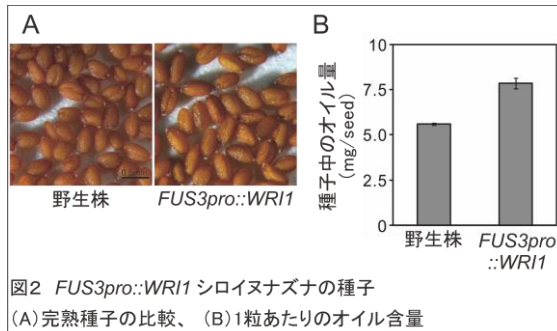


図2 *FUS3pro::WRI1* シロイヌナズナの種子  
(A) 完熟種子の比較、(B) 1粒あたりのオイル含量

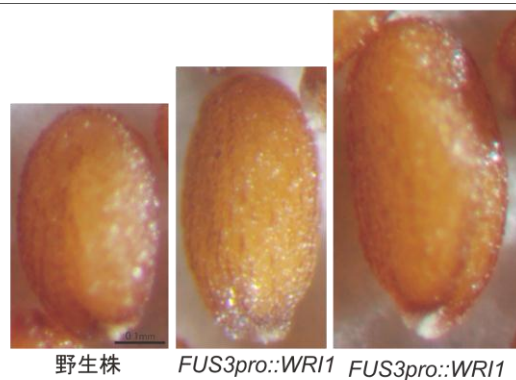


図3 野生株、*FUS3pro::WRI1*、*FUS3pro::WRI1/1.4* 完熟種子の比較

## ②オイル合成期の延長

種子のトリアシルグリセロール合成を制御する転写制御因子 *WRI1* は種子登熟期において発現するものの、その発現はごく短期間であることを明らかにした。*WRI1* の発現時期を延長させるためのプロモーターを探索し、*FUS3* 遺伝子のプロモーターが最適であることを見出した。この *FUS3* プロモーターに *WRI1* 遺伝子を連結した DNA コンストラクトをシロイヌナズナに導入したところ (*FUS3pro::WRI1*)、種子登熟期における *WRI1* の発現時期が延長され、トリアシルグリセロール合成期が延長された。その結果、種子は肥大し(図2A)、オイル含量は有意に増加した(図2B)。続いて、種子のタンパク質蓄積を抑制した株と交配させ、タンパク質合成に利用されるエネルギーをトリアシルグリセロール合成へと流用できるか検討した。その結果、種子のタンパク質蓄積を抑制した株と交配させた株の種子 (*FUS3pro::WRI1/1.4*) では、さらに種子の肥大化が起こり(図 3)、野生株の 1.5 倍以上のトリアシルグリセロールを蓄積した。

この成果をダイズへ応用するために、種子のオイル含量の高いナタネの *WRI1* を同定した。ダイズにおけるシロイヌナズナ *FUS3* 遺伝子と同様の機能を有するプロモーターである *Gm7S* プロモーターにナタネ *WRI1* を連結した DNA コンストラクトの開発に成功している。

## 成果の位置づけ類似研究との比較

種子のオイル蓄積を増大させることは、植物科学における有用物質の生産という観点において重要な課題であり、これまでも種子のオイル含量を増加させる試みは盛んに行われてきた。しかしながら、多くの研究がオイル合成に関わる酵素遺伝子をターゲットとし、その遺伝子を改変する事で種子のオイル含量増大を目指している。一方、本研究ではオイル代謝系を俯瞰し、①では登熟期における無駄な分解を抑制する、②では合成期間を延長させる、という新規なコンセプトを元に研究を進行させた。また、本研究のように分子機構の解析をモデル植物であるシロイヌナズナで行い、その成果をすぐさまダイズへ移行させ、効果を検証した例は世界的にも少ない。基礎と応用が融合した本 CREST 研究体制が機能したことにより、世界に先駆けて、登熟期のオイル分解を抑制した高脂質ダイズを作出することにつながった。

## 4. 8 バイオマス蓄積制御(京都大学 高部グループ)

### (1)研究実施内容及び成果

(グルタチオン施用に応答する遺伝子の特定と機能解析)

1 mM GSSG、2 mM GSH、3 mM  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  を、播種後 1 週間目から 1 週間毎に灌水したシロイヌナズナの 3 週間目の茎頂、4 週間目と 5 週間目の葉をサンプルとして行ったマイクロアレイデータを基に遺伝子共発現相関解析を行い、グルタチオン施用により遺伝子発現が増加あるいは減少する遺伝子の探索を試みた。その結果、発現が増加する遺伝子群として、**光合成関連遺伝子、糖飢餓シグナル関連遺伝子、傷害応答関連遺伝子**が確認できた。

糖飢餓シグナルの観点から栄養素の分配に着目したところ、アスパラギン合成経路の遺伝子の発現増加が確認でき、CE-TOFMS の結果からは、葉内アスパラギン含量が増加していることも確認できた。糖飢餓シグナル(炭素が少ない)というシグナルを起点として、より少ない炭素で窒素貯蔵が可能なアミノ酸であるアスパラギンの合成促進と炭素を獲得するための光合成関連遺伝子群の発現増加が引き起こされ、バイオマス増産につながるという作業仮説を新規に確立した。傷害応答に関しては、傷害を受けた植物はリソースを転用するように遺伝子発現を変化させるため、これも栄養の分配の一環と言えるかもしれない。

一方、発現が抑制される遺伝子群の解析では、**老化に関与する遺伝子群の発現抑制**が確認できた。老化を抑制により緑色の状態を長く維持することによりバイオマス増産に寄与していると考えられる。実際に、グルタチオン施用により老化が遅延することがシロイヌナズナで確認されている。

以上のように、未解明であったグルタチオン施用による効果の一原因を、遺伝子発現の面から解明した。グルタチオン施用の効果は、作物品種の増収や林業品種におけるバイオマスの増産など様々な植物種で確認されている。その原因となる遺伝子群は、別のアプローチとして遺伝子組換えを利用したバイオマス増産など、遺伝資源としての活用が期待できる。

グルタチオン施用により発現が最も増加していた遺伝子である *MtN21* に関して、そのシロイヌナ

ズナ変異体の解析を、花茎の横断面を観察することにより行った。生育初期の花茎基部では、髓の細胞の形がいびつであることが観察された。生育中期では、髓、維管束間繊維の細胞壁が薄くなっていることが観察され、更に維管束間繊維の細胞面積が減少していることが確認できた。ペクチンに対する免疫標識の結果からは、生育初期では、野生型に比べ細胞壁の形成過程が遅れている可能性が示唆された。生育後期の基部では、維管束間繊維に野生型との差は認められず、細胞壁形成の遅延は花茎の伸長初期だけの可能性がある。

#### (ユーカリへのグルタチオン施用効果)

ユーカリ実生に GSSG を施用すると葉が厚くなり葉におけるデンプン蓄積量はやや減少していたが、胚軸では内樹皮の形成が促進され、道管要素の直径が増大した。GSSG 施用により光合成産物の転流が促進される可能性、道管要素形成パターンに変化が生じる可能性が示唆された。

2 年生ユーカリでは、伸長成長が促進される傾向が認められた。道管要素は、GSSG 施用後間もなく直径が大きくなり道管頻度が小さくなった。しかし、木繊維長、化学成分に有意な差は認められなかった。

西豪州植栽ユーカリでは、GSSG 施用後に形成されたと考えられる部位で道管要素径が増大した。容積密度数、木部繊維壁厚、壁率には GSSG 施用の影響は認められなかった。

以上より、GSSG 施用により道管直径が拡大するが、木繊維の形態には影響がないことが明らかになった。GSSG 施用により通水効率の高い木部を形成するように植物の成長戦略が変化する可能性が示唆された。

#### (針葉樹に対するグルタチオン施用効果)

スギ実生苗への GSSG 処理は 0.5～2.5mM 程度の濃度、特に 1.0mM で成長促進効果があり、それ以上の濃度では個体によっては成長が抑制された。1 回の GSSG 処理によって成長促進効果が見られ、その効果は濃度依存的であった。成長が促進された個体では枝葉がよく発達していた。このことから GSSG 施用により光合成器官である枝葉の発達がもたらされることによって、長期的に個体の成長を促進することが示唆された。

ヒノキへの GSSG 施用では 1.0 mM 施用で伸長成長が促進され、0.5～1.0 mM GSSG 施用で肥大成長が促進された。全バイオマス量は 0.5 mM 施用で約 1.3 倍、1.0 mM 施用で Control の約 1.5 倍となった。クロロフィル蛍光測定の結果から、GSSG 施用によってヒノキ実生の光合成能が向上することが示唆されたが、樹高、基部直径、乾物重との間に明瞭な相関関係はなかった。GSSG 施用によるヒノキ実生の成長促進は、光合成能向上だけでなくそれ以外の効果、たとえば発根の促進、分枝形成の促進などの複合的な作用によりもたらされることが示唆された。

以上の結果より、GSSG 施用によりスギ、ヒノキ実生のバイオマス生産性が向上した。またスギにおいて、1 回の GSSG 施用の成長促進効果は、その後約 1 年間に渡る個体の成長に寄与することがわかった。

#### (有用遺伝子導入ポプラの評価)

バイオマス増産に有用であると期待される遺伝子 (*GSH1*, *LAI*, *FBA1*, *FBA3*) を導入したポプラについてバイオマス生産性を評価した。

*GSH1* が葉緑体で過剰発現する組換え交雑ポプラのうち 1 系統は有意にバイオマス量が増大した。*GSH1* が細胞質で過剰発現する組換え交雑ポプラでは、4 系統でバイオマス量が増大した。これらの系統ではグルタチオン量が増大し、光合成速度も上昇した。また、*GSH1* の発現量が増加するとともに総葉面積も増大した。

*LAI* 遺伝子 (PP2C 型ホスファターゼ) を導入した交雑ポプラでは、1 系統でバイオマス量、バイオマス量あたりの葉面積、ホスファターゼ活性が増大した。

*FBA1* 遺伝子を導入した交雑ポプラでは、2 系統でアルドラーゼ活性、バイオマス量、光合成速度、アルドラーゼ活性が増大した。

*FBA3* 遺伝子を導入した交雑ポプラでは、1 系統でアルドラーゼ活性、樹高、バイオマス量が増大した。

#### 4. 9 バイオマス蓄積制御(日本製紙 河岡グループ)

##### (1)研究実施内容及び成果

##### 有用遺伝子の樹木における評価

これまでに、シロイヌナズナで有用な形質を示した 5 種類の遺伝子 (GSH1 葉緑体型、GSH1 細胞質型、LAI、FBA1、FBA3) を導入した形質転換ポプラを各 10 系統以上作成した。サザン解析による導入遺伝子のコピー数と RT-PCR 法による発現解析を行い、形質転換ポプラを評価した。このうち、3 種類の遺伝子 (GSH1 葉緑体型、GSH1 細胞質型、LAI) を導入したポプラの形質評価のため、京都大学の特定網室で実施した。小川グループと高部グループの協力のもと、成長量や光合成活性などの解析を行った。また、ユーカリへも 2 種類の遺伝子 (GSH1 細胞質型、LAI) を導入した (図 1)。



図 1 形質転換ユーカリ

##### グルタチオンの樹木への応用

国内の小松島、西オーストラリア 7 か所、ブラジル 1 か所に試験地を設置し、関連会社等を通して栽培管理を行った。また、各試験地ではグルタチオン施用の効果を検証するために、成長量を調査した。その結果、国内と西オーストラリアの試験地では成長量増加の効果は不明瞭であったが、ブラジルの試験地では施用の効果を確認できた (図 2)。

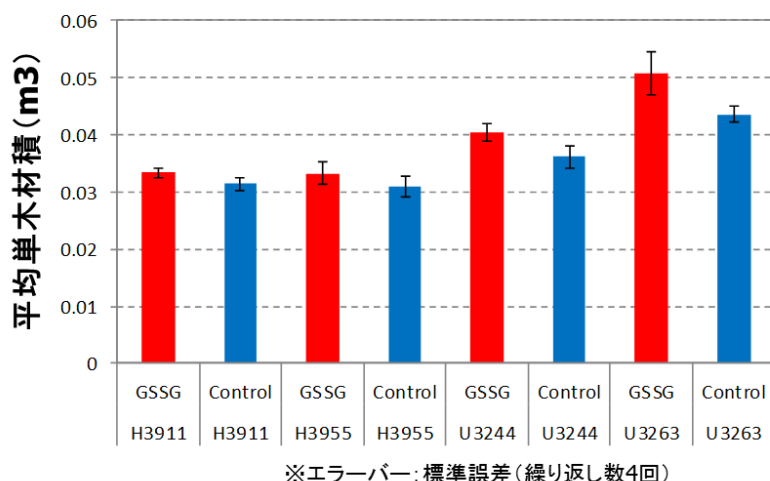


図2 ブラジル試験地におけるグルタチオンの効果



図3 DR5-GUS 導入ポプラ

##### グルタチオンの発根促進に対する効果

これまでに、チャの苗木を作成する際にグルタチオンを施用すると、発根率が上昇することを見出した。また、クロマツや薬用植物においてもグルタチオンを発根処理する際に施用すると、発根率が上昇することを確認した。また、オーキシシンに反応して発現する DR5-GUS を導入したモデル植物であるシロイヌナズナやポプラ (図 3) を用いて、基礎的なメカニズムの解析した結果、グルタチオンの施用によって内在のオーキシシン量が増加することを見出した。さらに、ユーカリを用いたホルモン量を解析し、オーキシシンのみならずサイトカイニン類も増加していた。

#### 4. 10 バイオマス蓄積制御(理化学研究所植物科学センター 関グループ)

(1)研究実施内容及び成果

H24 年度から国際共同研究支援で実施した「キャッサバ増産に向けた課題」では、組換え体の作製と生産性評価を行う予定にしていたが、作製した組み換え体の育成に時間を要することもあり、組み換え体の評価は、別に採択された関 CREST チームにゆだねることとした。

4. 11 バイオマス蓄積制御 (Agricultural Genetic Institute Ham グループ)

(1)研究実施内容及び成果

H24 年度から国際共同研究支援で実施した「キャッサバ増産に向けた課題」では、グルタチオンによる根系発達が著しい（必ずしも根バイオマス量が増すことにはならないが）ことに注目してのキャッサバプロジェクトの追加提案であったので、技術のポテンシャルをキャッサバでも評価するべく、ベトナム国内 2 か所でグルタチオン投与のフィールド試験を実施した。ここでは、グルタチオンの土壌吸着や pH などの影響を評価すると同時に、グルタチオン施用のタイミングを解析できるように数多くの試験プロットを各試験地に設定した。ベトナムの収穫は 1 月までに実施した。土地のばらつきのあるものの、重回帰分析の結果、キャッサバ塊根の形成が開始されて以降のグルタチオン施用が効果的であることが判明し、プロットによっては、顕著な収量区（対照区 18～20 トン程度／ヘクタールに対し、最大 30 トンを超える）が認められた。一方、地上部の生育にそれほどの差は認められず、「グルタチオンはもともとのシンク器官への流れを強める働きをするが、その流れを大きくは変えない」という H24 年度までに実施した研究に対する考察と矛盾しない結果となった。2 年度目の結果は、対照区のばらつきが大きく、しかもベトナムの平均収量の 2 倍以上の値が得られ、効果の判定ができなかった（周りで栽培されるキャッサバ収量は非常に低い値であったことから、ポジション効果と傾斜地で、雨量が多いため薬剤の流亡の結果とも考えられた。）

## § 4 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 0 件、国際(欧文)誌 21 件)

1. Ueda H, Yokota E, Kutsuna N, Shimada T, Tamura K, Shimmen T, Hasezawa S, Dolja VV, Hara-Nishimura I. Myosin-dependent endoplasmic reticulum motility and F-actin organization in plant cells. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 104:6894-6899, 2010
2. Shimada TL, Hara-Nishimura I. Oil-body-membrane proteins and their physiological functions in plants. *Biol Pharm Bull* 33:360-363, 2010
3. Sugano SS, Shimada T, Imai Y, Okawa K, Tamai A, Mori M, Hara-Nishimura I. Stomagen positively regulates stomatal density in Arabidopsis. *Nature* 463:241-4, 2010
4. Takahashi K, Shimada T, Kondo M, Tamai A, Mori M, Nishimura M, Hara-Nishimura I. Ectopic expression of an esterase, which is a candidate for the unidentified plant cutinase, causes cuticular defects in Arabidopsis thaliana. *Plant Cell Physiol* 51:123-31, 2010
5. Kumamaru T, Uemura Y, Inoue Y, Takemoto Y, Siddiqui SU, Ogawa M, Hara-Nishimura I, Satoh H. Vacuolar processing enzyme plays an essential role in the crystalline structure of glutelin in rice seed. *Plant Cell Physiol* 51:38-46, 2010
6. Kawachi N, Suzui N, Ishii S, Ito S, Ishioka NS, Yamazaki H, Hatano-Iwasaki A, Ogawa K, Fujimaki S. Real-time whole-plant imaging of  $^{11}\text{C}$  translocation using positron-emitting tracer imaging system. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 648: 317-320, 2011 (DOI: 10.1016/j.nima.2010.10.152)
7. Negishi N, Nanto K, Hayashi K, Onogi S and Kawaoka A, Wood quality-related gene expression of *Eucalyptus globulus* grown in greenhouse. *BMC Proceedings*, Vol 5, (Suppl 7): 115, 2011 (DOI: 10.1186/1753-6561-5-S7-P115 )
8. Kawachi N, Suzui N, Ishii S, Ito S, Ishioka NS, Yamazaki H, Hatano-Iwasaki A, Ogawa K, Fujimaki S. Carbon translocation in a whole plant body by using positron emitting tracer imaging system (PETIS) and carbon-11-labeled carbon dioxide ( $^{11}\text{CO}_2$ ). *JAEA Takasaki annual report 2009 JAEA-Review 2010-041*: 101, 2011
9. Negishi N, Oishi M, Kawaoka A. Chemical screening for promotion of adventitious root formation in *Eucalyptus globulus*, *BMC Proceedings*, Vol.5, Supple 7, pp.139, 2011 (DOI: 10.1186/1753-6561-5-S7-P139)
10. Hatano-Iwasaki A, Ogawa K. Biomass production is promoted by increasing an aldolase undergoing glutathionylation in *Arabidopsis thaliana*. *Int J Plant Dev Biol* 7: 1-8, 2012.
11. Hatano-Iwasaki A, Ogawa K, Overexpression of GSH1 gene mimics transcriptional response to low temperature during seed vernalization treatment of Arabidopsis. *Plant Cell Physiol* 53:1195-1203, 2012 (DOI: 10.1093/pcp/pcs075v1/53/7/1195)
12. Yamada T, Takagi K, Ishimoto M. Recent advances in soybean transformation and their application to molecular breeding and genomic analysis. *Breeding Sci* 61: 480-494, 2012
13. Kawachi N, Suzui N, Ishii S, Yamazaki H, Hatano-Iwasaki A, Ogawa K, Fujimaki S. Carbon kinetic analysis in a soybean plant by using newly developed real-time whole-plant imaging method with positron emitting tracer imaging system (PETIS). *JAEA Takasaki Annual Report 2010 JAEA-Review 2011-043*: 93, 2012
14. Tanaka Y, Sugano SS, Shimada T, Hara-Nishimura I. Enhancement of leaf photosynthetic capacity through increased stomatal density in *Arabidopsis*. *New Phytologist* 198: 757-764, 2013 (DOI: 10.1111/nph.12186)
15. Negishi N, Nakahama K, Urata N, Kojima M, Sakakibara H, Kawaoka A. Hormone level analysis on adventitious root formation in *Eucalyptus globulus*. *New Forests*: 45: 577-587, 2014(DOI:10.1007/s11056-014-9420-1)
16. Kanai M, Hayashi M, Kondo M, Nishimura M. The Plastidic DEAD-box RNA Helicase 22, HS3, is essential for plastid functions both in seed development and in seedling growth. *Plant Cell Physiol* 54: 1432-1440, 2013 (DOI:10.1093/pcp/pct091)

17. Kawachi N, Koyanagi A, Suzui N, Ishii S, Yin Y-G, Yamazaki H, Hatano-Iwasaki A, Ogawa K, Fujimaki S A New Method to Analyze Individual Photosynthetic Abilities of Young Plant Seedlings Using Positron-Emitting Tracer Imaging System (PETIS). *JAEA-Review 2012-046* JAEA Takasaki Annual Report 2011: 93, 2013.
18. Sugano SS, Shirakawa M, Takagi J, Matsuda Y, Shimada T, Hara-Nishimura I, Kohchi T. CRISPR/Cas9 Mediated Targeted Mutagenesis in the Liverwort *Marchantia polymorpha* L. *Plant Cell Physiol* 55:475-481, 2014 (DOI: 10.1093/pcp/pcu014)
19. Yamada T, Mori Y, Yasue K, Maruyama N, Kitamura K, Abe J (2014) Knock-down of the 7S globulin subunits shifts distribution of nitrogen sources to the residual protein fraction in transgenic soybean seeds. *Plant Cell Rep* 33: 1963-1976, 2014 (DOI 10.1007/s00299-014-1671-y)
20. Sugimoto H, Kondo S, Tanaka T, Imamura C, Muramoto N, Hattori E, Ogawa K, Mitsukawa N, Ohto C, Overexpression of a novel Arabidopsis PP2C isoform, AtPP2CF1, enhances plant biomass production by increasing inflorescence stem growth. *J Exp Bot* 65:5385-5400, 2014 (DOI: 10.1093/jxb/eru297).
21. Suzui N, Kawachi N, Ishii S, Hatano-Iwasaki A, Ogawa K, Fujimaki S. Evaluation of velocity of  $^{11}\text{C}$ -photoassimilate flow using positron-emitting tracer imaging system", *JAEA-Review 2014-050* JAEA Takasaki Annual Report 2013 2014-040: 105, 2015.

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. Shimada TL, Hara-Nishimura I. Oil-body-membrane proteins and their physiological functions in plants. *Biol Pharm Bull* 33: 360-363, 2010
2. Osakabe Y, Kawaoka A, Nishikubo N, Osakabe K. Responses to environmental stresses in woody plants: key to survive and longevity. *J Plant Res* 25: 1-10, 2012 (DOI: 10.1007/s10265-011-0446-6)
3. 小川健一、グルタチオン農業. *植物の生長調節* 47: 17-23, 2012
4. 小川健一、植物の光合成機能のさらなる促進を目指した研究開発. *放射線と産業* 132: 26-29, 2012
5. Yamada T, Takagi K, Ishimoto M. Recent advances in soybean transformation and their application to molecular breeding and genomic analysis. *Breeding Sci* 61: 480-494, 2012.
6. 小川健一、バイオマス生産制御を目的とした澱粉合成制御、*化学と生物* 51: 554-559, 2013
7. 小川健一、*現代農業* 10月号, 294-299, 2013
8. 河地有木、ガンマ線イメージング技術を駆使した植物研究の展開、*J Vac Soc Jpn* 57: 37-44, 2014.
9. 藤巻秀、"RI を利用した植物の元素動態のライブイメージング"、*化学と生物* 52: 582-587, 2014.

(3)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 28 件、国際会議 24 件)

1. Ken'ichi Ogawa: The master tripeptide glutathione: Beyond a simple antioxidant、NAIST Global COE International Symposium 2009 Environmental Adaptation, Nara, Nov 12-13, 2009
2. 小川健一: グルタチオン農業を目指して. 2009 年植物科学シンポジウム「ひき出そう植物科学の潜在力: 日本発 GM 植物実現を目指して、港区, 2009 年 12 月 1 日
3. 小川健一: 新規な植物生産性向上技術. 第7回日本応用細胞生物学会, 宇治, 2009 年 12 月 12 日
4. Ken'ichi Ogawa: Glutathione's role in ROS signaling. 第 51 回日本植物生理学会年会, 熊本, Mar 20, 2010



5. 小川健一：植物の生産力を飛躍的にあげる新技術開発. 平成 21 年度高松市農業振興大会, 高松, 2009 年 3 月 26 日
6. 小川健一：グルタチオンによる作物収量の向上—グルタチオン農業を目指して—、日本学術振興会第160委員会 第10回研究会「高収量・高バイオマス生産作物の作出へのアプローチ」、キャンパス・イノベーションセンター東京(東京)、2010 年 12 月 14 日
7. 小川健一：植物の力を利用したグリーンイノベーション、量子ビーム応用技術シンポジウム -医療・バイオ分野への貢献を目指して-、TKP 代々木ビジネスセンター、2011 年 1 月 21 日
8. Keiji Takabe: Glutathione stimulating CO<sub>2</sub> uptake causes the increase in wood biomass accumulation, The 5<sup>th</sup> Bio-energy & biotechnology Symposium, Chonnam National University, Korea, Dec 2, 2011
9. 河岡明義：発根を促進する化合物のスクリーニング、第 53 回日本植物生理学会年会、京都産業大学、2012 年
10. Ken'ichi Ogawa: Glutathione in plant growth and development: Beyond antioxidant function、Invited Lecture in Taiwan Agricultural Research Institute, Tai-Chung, Taiwan, May 17, 2012
11. 小川健一：クラミドモナス代謝改変によるクラミドモナスの微粒子澱粉の生産、第 52 回澱粉研究懇談会(SRT)、神戸、2012 年 6 月 7 日
12. 小川健一：新規 CO<sub>2</sub> 固定促進機構の活用による植物および藻類のバイオマス生産性の飛躍的向上、JST推薦シーズ 新規術説明会「グリーンイノベーション分野(生物生産、次世代エネルギー)、東京、2013 年 2 月 18 日
13. 西村いくこ：植物の生存戦略を支える細胞内膜系. 高遠シンポジウム. 伊那、2012 年 8 月 23 日.
14. 西村いくこ：気孔形成促進因子ストマジェンと植物の環境応答. 第 46 回日本小児内分泌学会学術集会. 大阪、2012 年 9 月 28 日
15. 西村いくこ：植物オルガネラが支える生存戦略. IGER グリーン自然科学レクチャー、名古屋、2012 年 11 月 2 日
16. 西村いくこ：植物細胞内膜系のダイナミクス. 第 25 回植物脂質シンポジウム、神戸、2012 年 11 月 30 日
17. Ken'ichi Ogawa: Glutathione in plant growth and development: Beyond antioxidant function、Invited Lecture in Taiwan Agricultural Research Institute, Tai-Chung, Taiwan, May 17, 2012
18. Ikuko Hara-Nishimura: Vesicle trafficking machinery and its role in plant immunity. The 10th International Plant Molecular Biology 2012. ICC Jeju, Jeju, Korea, Oct. 24, 2012
19. Ikuko Hara-Nishimura: Endomembrane systems responsible for plant immunity. The 4th NIBB-MPIPZ-TLL Symposium “Arabidopsis and Emerging Model Systems”. Okazaki Conference Centre, Okazaki, November 21, 2012.
20. 小川健一：農林業における新たな生産体系：グルタチオン農業 — 新たな緑の革命に向けて —、カネカ講演会、高砂市、2013 年 9 月 5 日
21. 小川健一、「ポジトロンイメージングにより作物の生産性限界を探る」、高崎研 50 周年記念講演会、高崎市、2013 年 10 月 11 日
22. 小川健一：土地生産性の限界を打ち破るには — グルタチオン農業へのチャレンジ —、第13回 RIBS バイオサイエンスシンポジウム&日本光合成学会公開講座「光と水、空気、土からはじまるエネルギー生産」、岡山市、2013 年 11 月 15 日
23. 小川健一：CO<sub>2</sub> 固定の新規促進機構を活用したバイオマテリアルの増産技術開発、セミナー(北海道大学低温科学研究所)、札幌市、2014 年 3 月 3 日
24. 小川健一：グルタチオン施用の炭素固定・転流促進効果の PETIS による定量的解析、シンポジウム「ライブイメージング：RI が教えてくれる植物の元素動態」、第 55 回日本植物生理学会年会、富山市、2014 年 3 月 18 日—20 日
25. 藤巻 秀：植物体内の養分と有害物質の動きを画像化する「放射線イメージング技術」、



- 東京理科大学基礎工学部公開セミナー、東京、7月19日
26. 藤巻 秀: 目で見る光合成産物の動き: イメージング解析の話」、第13回 RIBS バイオサイエンスシンポジウム&日本光合成学会公開講座「光と水、空気、土からはじまるエネルギー生産、岡山市、11月15日
  27. 藤巻 秀: 植物ポジトロンイメージング(PETIS)の技術的概観、日本植物生理学会シンポジウム「ライブイメージング: RI が教えてくれる植物の元素動態」、富山市、3月18日
  28. Ken'ichi Ogawa: Glutathione in plant growth and development: Beyond antioxidant function, Mahidol Univ. , Bangkok, May 2, 2013
  29. Ken'ichi Ogawa: Development of New CO<sub>2</sub>-Fixation-Promoting Technology for Increasing Bio-Material Production in the Scientific and Technological Cooperation Events between Vietnam and Japan—the 40<sup>th</sup> Anniversary Vietnam-Japan Diplomatic Relations, Hanoi, June 19, 2013
  30. Ken'ichi Ogawa: Glutathione in plant growth and development: Beyond antioxidant function, Technical Seminar in the Acharya N G Ranga Agricultural University, Hyderabad, June 18, 2013
  31. Ken'ichi Ogawa, “Glutathione: A New Agricultural Fertilizer for Enhancing Plant Productivity”, the Technical Seminar at the Taipei International Invention Show & Technomart (INST) , Taipei, September 27, 2013
  32. Ken'ichi Ogawa: New Concept for Agriculture and Forestry: Glutathione Agriculture – Toward New Green Revolution, Special Lecture at 中興大学, Taichung, September 26, 2013
  33. Ken'ichi Ogawa: New Concept for Agriculture and Forestry: Glutathione Agriculture – Toward New Green Revolution, JSPS アジア研究教育拠点事業「東アジア植物遺伝資源シンポジウム」, Okayama, September 25, 2013
  34. Ken'ichi Ogawa: New Concept for Agriculture and Forestry: Glutathione Agriculture – Toward New Green Revolution”, Lecture at the Thai Tapioca Developmental Institute (TTDI), October 17, 2013
  35. 藤巻 秀: ライブ・イメージング: RI が教えてくれる植物の元素動態、東京農業大学応用生物科学部大学院特別講演、東京、2014年5月22日
  36. 河地有木: 農業利用に向けた新しい RI イメージング技術、第15回放射線プロセスシンポジウム、東京、2014年6月18日
  37. 藤巻 秀: 植物 RI イメージングは植物の何を解明するのか?、第51回アイソトープ・放射線研究発表会パネル討論「農業利用のための RI イメージングの新展開」、東京、2014年7月7日
  38. Shu Fujimaki: Live-Imaging Technologies at Center Stage: Can They Provide Practical Answers in Plant Nutrition?, 8th International Conference on Isotopes and Expo, Chicago, USA, August 27, 2014
  39. Ken'ichi Ogawa: Glutathione, a new agricultural fertilizer for enhancing plant productivity, KMP, Udon-Thani, Thailand, April 28, 2014
  40. 小川健一 「活性酸素の功と罪」ー基礎研究の実用化までの道のりー、日本光合成学会シンポジウム、奈良、2014年5月31日
  41. 小川健一: 岡山から日本の農業、そして世界の農業を変える!」、岡山県主催ランチタイムセミナー、岡山、2014年9月5日
  42. 小川健一: グルタチオンで地域農業・発酵産業の新時代へ!」第66回日本生物工学会シンポジウム「糖が地域から湧き出たら、発酵の出番! 地域糖質プラットホームと生物工学の新たなケミストリー構築へ」、札幌、2014年9月11日
  43. 小川健一: 植物の生育状態から収量性を予測・管理する」サイエンスアゴラ、東京、2014年11月7日
  44. Ken'ichi Ogawa: New conception proposal, “ Glutathione Agriculture”、Tree and Crop

- Technology for Improving Quality and Productivity of Food and Biomaterials: Toward Achieving Another Green Revolution, “Glutathione Agriculture”, Tokyo, Japan, February 14, 2015
45. Shu Fujimaki: Live-imaging of carbon fixation and translocation in an intact plant: Quantitative analysis of effects of glutathione treatment、Tree and Crop Technology for Improving Quality and Productivity of Food and Biomaterials: Toward Achieving Another Green Revolution, “Glutathione Agriculture”, Tokyo, Japan, February 14, 2015
  46. Keitaro Tanoi: The effect of glutathione on the plants in a hydroponic culture、Tree and Crop Technology for Improving Quality and Productivity of Food and Biomaterials: Toward Achieving Another Green Revolution, “Glutathione Agriculture”, Tokyo, Japan, February 14, 2015
  47. Kosei Iwabuchi: Plant engineering to improve photosynthetic capacity by modulating stomatal density、Tree and Crop Technology for Improving Quality and Productivity of Food and Biomaterials: Toward Achieving Another Green Revolution, “Glutathione Agriculture”, Tokyo, Japan, February 14, 2015
  48. Tetsuya Yamada: Transgenic approach to control of oil content in soybean seed、Tree and Crop Technology for Improving Quality and Productivity of Food and Biomaterials: Toward Achieving Another Green Revolution, “Glutathione Agriculture”, Tokyo, Japan, February 14, 2015
  49. Masatake Kanai: Triacylglycerol lipase regulates quantity and quality of seed storage oils in Soybean、Tree and Crop Technology for Improving Quality and Productivity of Food and Biomaterials: Toward Achieving Another Green Revolution, “Glutathione Agriculture”, Tokyo, Japan, February 14, 2015
  50. Takashi Ohno: Gene expression analysis of *Arabidopsis thaliana* administered the glutathione、Tree and Crop Technology for Improving Quality and Productivity of Food and Biomaterials: Toward Achieving Another Green Revolution, “Glutathione Agriculture”, Tokyo, Japan, February 14, 2015
  51. Naoki Negishi: Effect of oxidative glutathione for adventitious root formation in woody plants、Tree and Crop Technology for Improving Quality and Productivity of Food and Biomaterials: Toward Achieving Another Green Revolution, “Glutathione Agriculture”, Tokyo, Japan, February 14, 2015
  52. Keiji Takabe: Glutathione stimulates the increase in wood biomass production、Tree and Crop Technology for Improving Quality and Productivity of Food and Biomaterials: Toward Achieving Another Green Revolution, “Glutathione Agriculture”, Tokyo, Japan, February 14, 2015

②口頭発表（国内会議 54 件、国際会議 4 件）

1. 岩崎(葉田野)郁 1, 前田貴史 2, 郷達明 2, 山里明弘 1, 深城英弘 2, 小川健一 1 (1 岡山生物研, 2 神戸大): 葉緑体におけるグルタチオン結合性アルドラーゼ FBA1 の機能. 第 51 回日本植物生理学会年会, 熊本, 2010 年 3 月 20 日
2. 山里明弘, 小川健一(岡山生物研): 葉緑体型フルクトース-1,6-ビスリン酸アルドラーゼのアイソザイムの酵素特性解析. 第 51 回日本植物生理学会年会, 熊本, 2010 年 3 月 20 日
3. 前田貴史 1, 郷達明 1, 三村徹郎 1, 小川健一 2, 深城英弘 1 (1 神戸大, 2 岡山生物研): 根端メリステムの維持に異常を示すシロイヌナズナ LR11-4 変異体の解析. 第 51 回日本植物生理学会年会, 熊本, 2010 年 3 月 20 日
4. 菅野茂夫 1, 嶋田知生 1, 今井悠 1, 大川克也 2, 玉井淳史 3, 森正之 3, 西村いく

- こ1(1京大, 2協和発酵キリン, 3石川県立大): 気孔分化を促進するペプチド性因子 stomagen による気孔密度の制御. 第51回日本植物生理学会年会, 熊本, 2010年3月21日
5. 近藤聡 1、杉本広樹 2、村本伸彦 2、田中倫子 2、服部悦子 1、小川 健一 3、光川典宏 2、大音徳 1 (1トヨタ自動車 2豊田中研 3RIBS Okayama): プロテインホスファターゼ2C(PP2C)によるバイオマス増産. 日本農芸化学会 2010年度大会, 東京, 2010年3月28日
  6. 杉本広樹 1、村本伸彦 1、近藤聡 2、田中倫子 1、今村千絵 1、小川健一 3、大音徳 2、光川典宏 1 (1豊田中研, 2トヨタ自動車・バイオ・ラボ, 3岡山生物研): バイオマス増産に関与するプロテインホスファターゼ 2C の機能解析、日本農芸化学会 2010年度大会, 東京, 2010年3月28日
  7. 近藤聡、杉本広樹、村本伸彦、田中倫子、服部悦子、小川健一、光川典宏、大音徳: プロテインホスファターゼ2C(PP2C)によるバイオマス増産とその機能解析、日本植物細胞分子生物学会大会・シンポジウム、2010年9月2日-3日
  8. 上森真広 1、高部圭司 1、小川健一 2,3 (1京大 2RIBS Okayama 3JST CREST): スギとヒノキにおける酸化型グルタチオン処理の影響第 61 回日本木材学会大会、京都、2011年3月18-20日
  9. 大久保有理 1、高部圭司 1、河岡明義 2、松永悦子 2、岩崎(葉田野)郁 3、小川健一 3,4 (1京大 2日本製紙 3RIBS Okayama 4JST CREST): ユーカリの成長及び葉の微細構造における酸化型グルタチオン投与の影響第61回日本木材学会大会、京都、2011年3月18-20日
  10. 大野良子 1、兒玉なつ美 1、柳田元継 1、小川健一 1,2 (1RIBS Okayama 2JST CREST): リノレン酸によるシロイヌナズナの花成と APETALA1 の細胞内局在性制御、第 52 回日本植物生理学会年会、仙台、2011年3月20日-22日
  11. 岩崎(葉田野)郁、小川健一 (RIBS Okayama & JST CREST)、Effects of glutathione on *Arabidopsis thaliana* (3): Seed germination and vernalization、第 52 回日本植物生理学会年会、仙台、2011年3月20日-22日
  12. 逸見健司、岩崎(葉田野)郁、小川健一 (RIBS Okayama & JST CREST)、グルタチオンのシロイヌナズナに対する効果(1): 個体の生長、第 52 回日本植物生理学会年会、仙台、2011年3月20日-22日
  13. 金井雅武、林誠、西村幹夫 (基生研): HS3 は葉緑体ゲノムの転写制御により種子の貯蔵脂質合成に関与する 日本植物生理学会年会 仙台 2011年3月11日
  14. 森本剛司 1、前田貴史 1、郷達明 1、三村徹郎 1、小川健一 2, 3、深城 英弘 1 (1神戸大、2岡山生物研、3JST CREST): 根端メリステムの維持に異常を示すシロイヌナズナ *fba1* 変異体の解析、第 52 回日本植物生理学会年会、仙台、2011年3月20日-22日
  15. 根岸 直希 1、大石 正淳 1、小嶋 美紀子 2、榊原 均 2、北畑 信隆 2、浅見忠男 3、河岡 明義 1 (1日本製紙 2理研 3東大): 難発根性樹種 *Eucalyptus globulus* を用いた発根を促進する化合物のスクリーニング、第 29 回日本植物細胞分子生物学会大会、福岡、9月6-8日
  16. 森本 剛司 1、前田 貴史 1、郷 達明 1、中島 敬二 2、三村 徹郎 1、小川 健一 3, 4、深城 英弘 1 (1神戸大、2奈良先端大・バイオ、3岡山生物研、4JST CREST): 根端メリステムの維持に異常を示すシロイヌナズナ *fba1* 変異体の解析、第 53 回日本植物生理学会年会、京都、2012年3月16日-18日
  17. 濃野絢、岩崎(葉田野)郁、小川健一 (RIBS Okayama & JST CREST): グルタチオンのシロイヌナズナに対する効果-CO<sub>2</sub>の取込み、第 53 回日本植物生理学会年会、京都、2012年3月16日-18日
  18. 大久保有理、高部 圭司、林 和典、河岡 明義、岩崎(葉田野) 郁、小川 健

- 一 (1 京大 2 日本製紙 3RIBS Okayama 4JST CREST): ユーカリの木部・師部形成における酸化型グルタチオン投与の影響、第 62 回日本木材学会大会、札幌、2012 年 3 月 15 日～17 日
19. 奥田延幸 1、神谷昌志 1、谷将志 1、小川健一 2,3(1 香川大 2 RIBS Okayama 3 JST CREST): サイシンの花芽形成に及ぼすグルタチオン処理の影響、園芸学会平成 23 年度秋季大会、岡山、2011 年 9 月 24 日～26 日
  20. 近藤聡 1、杉本広樹 2、村本伸彦 2、田中倫子 2、服部悦子 1、小川 健一 3、光川 典宏 2、大音徳 1(1トヨタ自動車 2 豊田中研 3 RIBS Okayama): 植物バイオマス増産に關与するプロテインホスファターゼ 2C (PP2C) の機能解析、第 29 回日本植物細胞分子生物学会大会・シンポジウム、福岡、2011 年 9 月 6 日～8 日
  21. 近藤聡 1、杉本広樹 2、村本伸彦 2、田中倫子 2、小川 健一 3、光川 典宏 2、大音徳 1(1トヨタ自動車 2 豊田中研 3 RIBS Okayama): プロテインホスファターゼ 2C およびフルクトース 1,6-ビスリン酸アルドラーゼ共発現によるバイオマス増産、第 29 回日本植物細胞分子生物学会大会・シンポジウム、福岡、2011 年 9 月 6 日～8 日
  22. 森本 剛司1、前田 貴史1、郷 達明1、三村 徹郎1、小川 健一 2、3、深城 英弘1(1 神戸大、2 岡山生物研、3 JST CREST): 根端メリステムの維持に異常を示すシロイヌナズナ *fba1* 変異体の解析、日本植物学会第75回大会、東京、2011 年 9 月 17 日～19 日
  23. 田中佑、菅野茂夫、嶋田知生、西村いくこ(京大): 気孔密度の増減がシロイヌナズナのガス交換およびバイオマス生産におよぼす影響、第 53 回日本植物生理学会年会、京都産業大学、2012 年 3 月 16 日～18 日
  24. 金井雅武 林誠 近藤真紀 西村幹夫(基生研): HS3 は発芽後の初期生長と貯蔵脂質合成に關与する、第 53 回日本植物生理学会年会、京都産業大学、2012 年 3 月 16 日～18 日
  25. 近藤聡 1、杉本広樹 2、村本伸彦 2、田中倫子 2、服部悦子 1、小川 健一 3、光川 典宏 2、大音徳 1(1トヨタ自動車 2 豊田中研 3 RIBS Okayama): バイオマス増産を示すプロテインホスファターゼ 2C (PP2C) 導入シロイヌナズナのメタボローム解析、第 30 回日本植物細胞分子生物学会大会・シンポジウム、奈良、2012 年 8 月 5 日
  26. 森本 剛司1、前田 貴史1、郷 達明1、中島 敬二2、三村 徹郎1、小川 健一3、4、深城 英弘1(1 神戸大、2 奈良先端大、3 岡山生物研、4 JST CREST): 根端メリステムの維持に異常を示すシロイヌナズナ *fba1* 変異体の解析、日本植物学会第 76 回大会、姫路、2012 年 9 月 15 日
  27. 近藤聡 1、杉本広樹 2、村本伸彦 2、田中倫子 2、服部悦子 1、小川 健一 3、光川 典宏 2、大音徳 1(1トヨタ自動車 2 豊田中研 3 RIBS Okayama): バイオマス増産を示すプロテインホスファターゼ 2C (PP2C) 導入シロイヌナズナのメタボローム解析、第 30 回日本植物細胞分子生物学会大会・シンポジウム、奈良、2012 年 8 月 5 日
  28. 森本 剛司1、前田 貴史1、郷 達明1、中島 敬二2、三村 徹郎1、小川 健一3、4、深城 英弘1(1 神戸大、2 奈良先端大、3 岡山生物研、4 JST CREST): 根端メリステムの維持に異常を示すシロイヌナズナ *fba1* 変異体の解析、日本植物学会第 76 回大会、姫路、2012 年 9 月 15 日
  29. 岩崎(葉田野)郁 1,2、逸見健司 1、小川健一 1,2(1 岡山生物研、2 科学技術振興機構・CREST): シロイヌナズナへのグルタチオン施用の光合成における効果、日本植物生理学会第 54 回年会、岡山、2013 年 3 月 23 日
  30. 逸見健司 1、岩崎(葉田野)郁 1,2、小川健一 1,2(1 岡山生物研、2 科学技術振興機構・CREST): シロイヌナズナにおけるグルタチオンのアンモニア態および硝酸態窒素の取り込みに対する効果、日本植物生理学会第 54 回年会、岡山、2013

年 3 月 23 日

31. 濃野絢 1,4, 岩崎(葉田野)郁 1,4, 栗野達也 2,4, 林和典 3,4, 高部圭司 2,4, 河岡明義 3,4, 小川健一 1,4(1 岡山生物研, 2 京都大・農, 3 日本製紙・アグリ・バイオ研, 4 科学技術振興機構・CREST): ユーカリにおけるグルタチオン施用の効果ー光合成と気孔への効果の従属性、日本植物生理学会第 54 回年会、岡山、2013 年 3 月 23 日
32. 小川健一 1,2, 岩崎(葉田野)郁 1,2, 神原里沙 1,2, 栗野達也 2,3, 林和典 2,4, 高部圭司 2,3, 河岡明義 2,4(1 岡山生物研, 2 科学技術振興機構, 3 京大・農, 4 日本製紙 アグリ・バイオ研): グルタチオン(GSSG)施用によるユーカリ葉の窒素および炭素の安定同位体比( $\delta^{13}\text{C}$  および  $\delta^{15}\text{N}$ )への影響、日本植物生理学会第 54 回年会、岡山、2013 年 3 月 23 日
33. 菅野茂夫 嶋田知生 西村いくこ(京大・理): 気孔分化の光応答と STOMAGEN 遺伝子の発現変化 第 54 回日本植物生理学会年会、岡山、2013 年 3 月 21-23 日
34. 阪井裕美子 1, 菅野茂夫 1, 嶋田知生 1, 西村いくこ 1(1 京大院・理): 気孔形成に影響を与える低分子化合物の同定と解析 第 54 回日本植物生理学会年会、岡山、2013 年 3 月 21-23 日
35. 川瀬貴士, 菅野茂夫, 嶋田知生, 西村いくこ(京大院・理): 葉の三次元画像解析による気孔腔形成機構の解明 第 54 回日本植物生理学会年会、岡山、2013 年 3 月 21-23 日
36. 鈴木沙季 1, 平田絵理 1, 高部圭司 1, 松永悦子 2, 河岡明義 2, 岩崎(葉田野)郁 3, 小川健一 3(1 京大院・農, 2 日本製紙・アグリ・バイオ研, 3 岡山生物研):  $\gamma$ -グルタミルシステイン合成酵素(葉緑体型)を過剰発現させたヤマナラシの成長量と内生 GSH 量の関係、第 63 回日本木材学会大会、盛岡、2013 年 3 月 27 日
37. 森真広 1, 高部圭司 1, 小川健一 2(1 京大院・農, 2 岡山生物研): 酸化型グルタチオンを施用したスギ実生の成長解析(2)ー施用条件の違いが成長に及ぼす影響一、第 63 回日本木材学会大会、盛岡、2013 年 3 月 27 日
38. Ikuko Hara-Nishimura: Vesicle trafficking machinery and its role in plant immunity. 10th International Plant Molecular Biology 2012. ICC Jeju, Jeju (Korea), Oct. 24, 2012.
39. Ikuko Hara-Nishimura: Endomembrane systems responsible for plant immunity. The 4th NIBB-MPIPZ-TLL Symposium “Arabidopsis and Emerging Model Systems”. Okazaki Conference Centre, Okazaki (Japan) Nov. 21, 2012.
40. 荒牧 俊宣、大野 雅子、田野井 慶太郎、中西 友子(東大・農院):  $^{35}\text{S}$  標識化合物を用いたシロイヌナズナにおける酸化型グルタチオンの葉位別移行量の解析」、第 50 回 アイソトープ・放射線研究発表会、東京(東京大学)、2013 年 7 月 3-5 日
41. 小川健一(RIBS & CREST): 新規CO<sub>2</sub>固定促進機構の活用による植物および藻類のバイオマス生産性の飛躍的向上ーグルタチオン農業の実現へ向けてー、第 53 回澱粉研究懇談会(SRT)、伊東市、2013 年 6 月 7 日
42. 近藤聡 1, 杉本広樹 2, 田中倫子 2, 村本伸彦 2, 服部悦子 1, 小川健一 3, 光川典宏 2, 大音徳 1(1 トヨタ自動車、2トヨタ中研、3RIBS): バイオマス増産を示すプロテインホスファターゼ2C 過剰発現シロイヌナズナの器官・組織レベルの表現型解析」、第 31 回日本植物細胞分子生物学会大会・シンポジウム、札幌市、2013 年 9 月 11 日
43. 安江一穂・森芳弘・渡邊啓史・原田久也・阿部純・山田哲也: ダイズおよび野生ダイズ種子における炭素および窒素含量、日本育種学会、鹿児島大学(鹿児島)、平成 25 年 10 月 12 日
44. Ken'ichi Ogawa (RIBS & CREST): Enhancement of photosynthesis and

- biomass productivity by oxidized glutathione, the 6<sup>th</sup> Asia-Oceania Conference on Photobiology (AOCP), Sydney, November 10-13, 2013
45. 田辺大悟・平田聡之・安江一穂・丸山伸之・阿部純・山田哲也: ダイズ遺伝資源における窒素含量と種子成分との関連性、育種・作物学会北海道談話会、酪農学園大学(札幌)、平成 25 年 12 月 7 日
  46. 杉本広樹、近藤聡、田中倫子、今村千絵、村本伸彦、服部悦子、田中秀典、北川律子、小川健一、光川典宏、大音徳: AtPP2CF1 の過剰発現は花茎の成長促進により植物バイオマスの増産につながる、第 55 回日本植物生理学会年会、富山市、2014 年 3 月 18 日-20 日
  47. 鈴木沙季、高部圭司、松永悦子、河岡明義、岩崎(葉田野)郁、小川健一: *GSH1* を過剰発現させた交雑ヤマナラシのバイオマス生産能の評価、第 64 回日本木材学会大会、松山市、2014 年 3 月 15 日
  48. 西根祥太、高部圭司、松永悦子、河岡明義、岩崎(葉田野)郁、小川健一: 2C 型プロテインホスファターゼ遺伝子およびフルクトース 1,6-ビスリン酸アルドラーゼ遺伝子を過剰発現させたポプラの形質変化、第 64 回日本木材学会大会、松山市、2014 年 3 月 15 日
  49. 香月遼ら(北大): 野生ダイズにおける DDMP サポニンの量的および質的形質に関わる遺伝学的研究、日本育種学会、南九州大学、平成 26 年 9 月 26 日
  50. 土田まるみら(北大): 青ダイズにおけるクロロフィル含量の品種系統間差異に関する遺伝学的および生理学的解析、日本育種学会、南九州大学、平成 26 年 9 月 26 日
  51. 杉澤駿ら(北大): ダイズ種子登熟中の温度に応答するイソフラボン含量とその組成、日本育種学会、南九州大学、平成 26 年 9 月 26 日
  52. 山田哲也ら(北大): ダイズ登熟中の温度に応答する  $\alpha$ -トコフェロール生合成関連遺伝子、日本植物細胞分子生物学会、いわて県民情報交流センター、平成 26 年 8 月 22 日
  53. 杉澤駿ら(北大): 登熟温度がダイズ種子イソフラボン含量および組成に及ぼす影響、日本植物細胞分子生物学会、いわて県民情報交流センター、平成 26 年 8 月 22 日
  54. 土田まるみら(北大): ダイズ stay-green 変異体における子葉クロロフィル含量の品種系統間差異とその遺伝解析、日本植物細胞分子生物学会、いわて県民情報交流センター、平成 26 年 8 月 22 日
  55. Naoki Kawachi(原子力機構)、Atsushi Koyanagi(東京理科大学、原子力機構)、Nobuo Suzui(原子力機構)、Yong-Gen Yin(原子力機構)、Satomi Ishii(原子力機構)、Hiroaki Shimada(東京理科大学)、Shu Fujimaki(原子力機構): Statistical Analysis of Carbon Fixation and Translocation in Arabidopsis Seedlings on Petri Dish by Using Positron-Emitting Tracer Imaging System (PETIS), 8th International Conference on Isotopes and Expo, Chicago, USA, 2014 年 8 月 27 日
  56. 藤巻 秀(原子力機構)、小柳 淳(東京理科大学、原子力機構)、河地 有木(原子力機構)、鈴井 伸郎(原子力機構)、尹 永根(原子力機構)、石井 里美(原子力機構)、島田 浩章(東京理科大学): ポジトロンイメージング技術を用いたシロイヌナズナのソース・シンク能力の可視化、日本土壌肥料学会、東京、2014 年 9 月 9 日
  57. 早川 正、栗野達也、高部圭司、小川健一: 傾斜ストレスおよび酸化型グルタチオンを与えたユーカリにおける光合成能の変化と成長解析、第 65 回日本木材学会大会、東京、2015 年 3 月 18 日
  58. 西根祥太、高部圭司、松永悦子、河岡明義、田村はるか、岩崎(葉田野)郁、小川健一: AtFBA1、AtFBA3、AtPP2C を過剰発現させたポプラの形態的、生化学

的特性評価、第65回日本木材学会大会、東京、2015年3月18日

③ポスター発表 (国内会議 36件、国際会議 32件)

1. 島田貴士, 嶋田知生, 西村いくこ(京大院理): 薬剤選抜を必要としない迅速な形質転換シロイヌナズナの作製法 (FAST 法). 第32回日本分子生物学会年会, 横浜, 2009年12月9日
2. 根岸直希, 大石正淳, 南藤和也, 河岡明義(日本製紙・森林研): The effect of CO<sub>2</sub> for adventitious root formation in *Eucalyptus globulus*. 第32回日本分子生物学会年会, 横浜, 2009年12月11日
3. Kanai M, Hayashi M, Nishimura M (NIBB): HS3 regulates Transcriptional Activity of Chloroplast Genome in Seedlings and Embryo of *Arabidopsis*. Plant Science Communication Okazaki, Japan. 9<sup>th</sup> Oct, 2010.
4. 山本拓海<sup>1</sup>, 庄村幸子<sup>1</sup>, 小川健一<sup>2</sup>, 三野真布<sup>1</sup>(<sup>1</sup>京都府立大院, <sup>2</sup>岡山県生物科学総合研究所): タバコ種間雑種 (*Nicotiana glauca* Domin x *N. tabacum* L.) 培養細胞の細胞死における一酸化窒素(NO)の役割. 第51回日本植物生理学会年会, 熊本, 2010年3月19日
5. 杉本広樹<sup>1</sup>, 近藤聡<sup>2</sup>, 村本伸彦<sup>1</sup>, 田中倫子<sup>1</sup>, 小川健一<sup>3</sup>, 大音徳<sup>2</sup>, 光川典弘<sup>1</sup>(<sup>1</sup>豊田中研, <sup>2</sup>トヨタ自動車, <sup>3</sup>RIBS Okayama): 新規シロイヌナズナ PP2C (AtPP2CF1)の機能解析. 第51回日本植物生理学会年会, 熊本, 2010年3月21日
6. 根岸直希, 大石正淳, 南藤和也, 河岡明義(日本製紙・森林研): *Eucalyptus globulus* の不定根形成にオーキシシンが及ぼす影響. 第51回日本植物生理学会年会, 熊本, 2010年3月19日
7. Hiroki Sugimoto<sup>1</sup>, Satoshi Kondo<sup>2</sup>, Nobuhiko Muramoto<sup>1</sup>, Tomoko Tanaka<sup>1</sup>, Etsuko Hattori<sup>2</sup>, Ken'ichi Ogawa<sup>3</sup>, Norihiro Mitsukawa<sup>1</sup>, Chikara Ohto<sup>2</sup> (<sup>1</sup>豊田中研 <sup>2</sup>トヨタ自動車 <sup>3</sup>RIBS Okayama): Characterization of a Novel Isoform of *Arabidopsis* PP2C, AtPP2CF1, The 21<sup>th</sup> International Conference on *Arabidopsis* Research, Yokohama, June 6-10, 2010
8. Naoki Kawachi<sup>1</sup>, Nobuo Suzui<sup>1</sup>, Satomi Ishii<sup>1</sup>, Sayuri Ito<sup>1</sup>, Noriko S. Ishioka<sup>1</sup>, Haruaki Yamazaki<sup>1</sup>, Aya Hatano-Iwasaki<sup>2</sup>, Ken'ichi Ogawa<sup>2,3</sup>, Shu Fujimaki<sup>1</sup> (1JA EA, <sup>2</sup>RIBS Okayama <sup>3</sup>JST CREST): Carbon translocation in a whole plant body by using positron emitting tracer imaging system (PETIS) and carbon-11-labeled carbon dioxide (<sup>11</sup>CO<sub>2</sub>). Imaging 2010, Stockholm, Sweden, June 8-11, 2010
9. 河地有木<sup>1</sup>, 鈴木伸郎<sup>1</sup>, 石井里美<sup>1</sup>, 山崎治明<sup>1</sup>, 岩崎(葉田野)郁<sup>2</sup>, 小川健一<sup>2,3</sup>, 藤巻秀<sup>1</sup>(<sup>1</sup>原子力機構, <sup>2</sup>RIBS Okayama <sup>3</sup>JST CREST): 植物分子イメージングの試み(5); 植物個体内の全炭素動態を可視化する, 第52回日本植物生理学会年会, 仙台, 2011年3月20日-22日
10. 根岸直希, 大石正淳, 小川健一, 河岡明義: 酸化型グルタチオンは難発根性樹木 *Eucalyptus globulus* の不定根形成を促進する, 第52回日本植物生理学会年会, 仙台, 2011年3月20日-22日
11. Hiroki Sugimoto<sup>1</sup>, Satoshi Kondo<sup>2</sup>, Nobuhiko Muramoto<sup>1</sup>, Tomoko Tanaka<sup>1</sup>, Etsuko Hattori<sup>2</sup>, Ken'ichi Ogawa<sup>3</sup>, Norihiro Mitsukawa<sup>1</sup>, Chikara Ohto<sup>2</sup> (<sup>1</sup>豊田中研 <sup>2</sup>トヨタ自動車 <sup>3</sup>RIBS Okayama): AtPP2CF1 encodes a functional *Arabidopsis* PP2C which belongs to group E, International Conference on *Arabidopsis* Research, Madison, WI, USA, Jun 22-25, 2011
12. Naoki Negishi, Masatoshi Oishi and Akiyoshi Kawaoka (Nippon Paper): Chemical screening for promotion of adventitious root formation in *Eucalyptus globulus*, IUFRO Tree Biotechnology Conference 2011, Arraial D'ajuda, Brazil, Jun 28-Jul 2, 2011
13. Naoki Negishi, Kazuya Nanto, Kazunori Hayashi and Akiyoshi Kawaoka

- (Nippon Paper): Wood quality-related gene expression of *Eucalyptus globulus* grown in greenhouse、IUFRO Tree Biotechnology Conference 2011、Arraial D'ajuda, Brazil、Jun 28-Jul 2, 2011
14. 根岸直希 1、中浜克彦 1、松永悦子 1、小川健一 2、河岡明義 1 (1 日本製紙、2 RIBS Okayama): 酸化型グルタチオンによる難発根性樹木 *Eucalyptus globulus* の発根促進作用の解析、第 53 回日本植物生理学会年会、京都産業大学、2012 年 3 月 16 日～18 日
  15. 上森真広 1、高部圭司 1、小川健一 2,3 (1 京大 2RIBS Okayama 3JST CREST): 酸化型グルタチオンを処理したスギ実生苗の成長解析、第 62 回日本木材学会大会、札幌、2012 年 3 月 15 日～17 日
  16. 岩崎(葉田野)郁 1、林和典 2、高部圭司 3、河岡明義 2、小川健一 1,4 (1RIBS Okayama 2 日本製紙 3 京大 4JST CREST): グルタチオン施用によるユーカリの光合成とバイオマス生産性の向上、第 53 回日本植物生理学会年会、京都、2012 年 3 月 16 日～18 日
  17. 西川正信、木村愛子、小川健一 (RIBS Okayama & JST CREST): *GSH1* 過剰発現クラミドモナスが示す窒素飢餓による誘導を要しないデンプン蓄積、第 53 回日本植物生理学会年会、京都、2012 年 3 月 16 日～18 日
  18. 逸見健司、岩崎(葉田野)郁、小川健一 (RIBS Okayama & JST CREST): グルタチオンのシロイヌナズナに対する効果—成長解析法による評価、第 53 回日本植物生理学会年会、京都、2012 年 3 月 16 日～18 日
  19. 岩崎(葉田野)郁、逸見健司、小川健一 (RIBS Okayama & JST CREST): グルタチオンのシロイヌナズナに対する効果—硝安施用効果との比較、第 53 回日本植物生理学会年会、京都、2012 年 3 月 16 日～18 日
  20. 大野 良子 1、兒玉 なつ美 1、柳田 元継 1、小川 健一 1,2 (1RIBS Okayama 2JST CREST): リノレン酸によるシロイヌナズナの花成と *APETALA1* の制御、第 53 回日本植物生理学会年会、京都、2012 年 3 月 16 日～18 日
  21. 木村愛子、岩崎(葉田野)郁、小川健一 (RIBS Okayama & JST CREST): 葉緑体型アルドラーゼのアイソフォームの精製と性質、第 53 回日本植物生理学会年会、京都、2012 年 3 月 16 日～18 日
  22. 大野隆史 1、高部圭司 1、岩崎(葉田野)郁 2、小川健一 2,3 (1 京大 2RIBS Okayama 3JST CREST): グルタチオン処理を基にしたバイオマス蓄積に寄与する細胞壁形成関連遺伝子の探索、第 53 回日本植物生理学会年会、京都、2012 年 3 月 16 日～18 日
  23. 鈴木沙季 1、平田絵理 1、高部圭司 1、松永悦子 2、河岡明義 2、小川健一 3,4 (1 京大 2 日本製紙 3RIBS Okayama 4JST CREST): グルタチオン合成遺伝子(葉緑体型)を過剰発現させたポプラの成長解析、第 62 回木材学会大会、札幌、2012 年 3 月 16 日～18 日
  24. 西川正信、小川健一 (RIBS Okayama & JST CREST): クラミドモナス *GSH1* 過剰発現株が示す窒素飢餓を要しないデンプン蓄積、第 3 回日本光合成学会公開シンポジウム、2012 年 6 月 1 日～2 日
  25. Keiji Takabe1, Yuri Okubo1, Masahir Kaminomori1, Saki Suzuki1, Eri Hirata1, Etsuko Matsunaga2, Akiyoshi Kawaoka2, Aya Hatano-Iwasaki3, Ken'ichi Ogawa3,4 (1 Kyoto Univ. 2 Nippon Paper 3 RIBS Okayama 4 JST CREST): Glutathione stimulating CO<sub>2</sub> uptake causes the increase in wood biomass production、2012 IUFRO conference division 5 forest products, Estoril, Portugal, Jul 8-13, 2012
  26. 西川正信、小川健一 (RIBS Okayama & JST CREST): クラミドモナス *GSH1* 過剰発現株が示す窒素飢餓を要しないデンプン蓄積、第 3 回日本光合成学会公開シンポジウム、2012 年 6 月 1 日～2 日
  27. 川瀬貴士、菅野茂夫、嶋田知生、西村いくこ(京大院・理): シロイヌナズナ葉の



三次元画像解析による気孔腔形成機構の解明 バイオイメージ・インフォマティクス  
ワークショップ 2012 理化学研究所 発生・再生科学総合研究センター、神戸市、  
2012 年 11 月 1 日～2 日

28. 西川正信 1, 清川一矢 1, 高部圭司 2,3, 小川健一 1,3 (1 岡山生物研, 2 京大・農, 3JST, CREST): クラミドモナス GSH1 過剰発現株が弱光下において示す非光化学消光(NPQ)について、日本植物生理学会第 54 回年会、岡山、2013 年 3 月 21 日
29. 清川一矢 1, 西川正信 1, 小川健一 1,2 (1 岡山生物研, 2JST CREST): デンプン蓄積が亢進する光強度時におけるクラミドモナス GSH1 過剰発現株のタンパク質分解抑制、日本植物生理学会第 54 回年会、岡山、2013 年 3 月 23 日
30. 大野隆史 1, 高部圭司 1, 岩崎(葉田野)郁 2, 小川健一 2,3 (1 京大院・農, 2 岡山生物研, 3CREST・JST): グルタチオン処理をしたシロイヌナズナの遺伝子発現解析、日本植物生理学会第 54 回年会、岡山、2013 年 3 月 23 日
31. Takuro Ito1,2,3, Masanobu Nishikawa4, Kenji Nakahigashi1,2, Ken'ichi Ogawa4, Tomoyoshi Soga1,2, Masaru Tomita1,2 (1Inst. Adv.Biosci., Keio Univ., 2Syst. Biol. Prog. Grad. Sch. Media & Governance, Keio Univ., 3PRESTO, JST, 4RIBS, Okayama) Metabolome Analysis of the  $\gamma$ -glutamylcysteine synthetase over-expressor green alga, *Chlamydomonas reinhardtii*, the 54<sup>th</sup> Annual Meeting of Japanese Society of Plant Physiologists, Okayama, March 23, 2013
32. 上森真広 1, 高部圭司 1, 小川健一 2 (1 京大院・農, 2 岡山生物研): 酸化型グルタチオンを施用したヒノキ実生の成長解析、第 63 回日本木材学会大会、盛岡、2013 年 3 月 28 日
33. 早川 正, 栗野達也, 高部圭司, 小川健一 (1 京大院・農, 2 岡山生物研): 人為的に傾斜したユーカリにおける酸化型グルタチオン(GSSG)投与の影響、第 63 回日本木材学会大会、盛岡、2013 年 3 月 28 日
34. 西根祥太 1, 高部圭司 1, 松永悦子 2, 河岡明義 2, 岩崎(葉田野)郁 3, 小川健一 3 (1 京大院・農, 2 日本製紙・アグリバイオ研, 3 岡山生物研): 2C 型プロテインホスファターゼ(PP2C)遺伝子を過剰発現させたポプラの形態形成、第 63 回日本木材学会大会、盛岡、2013 年 3 月 28 日
35. Keiji Takabe1, Yuri Okubo1, Masahir Kaminomori1, Saki Suzuki1, Eri Hirata1, Etsuko Matsunaga2, Akiyoshi Kawaoka2, Aya Hatano-Iwasaki3, Ken'ichi Ogawa3,4 (1 Kyoto Univ. 2 Nippon Paper 3 RIBS Okayama 4 JST CREST): Glutathione stimulating CO<sub>2</sub> uptake causes the increase in wood biomass production, 2012 IUFRO conference division 5 forest products, Estoril, Portugal, Jul 8-13, 2012
36. Ken'ichi Ogawa, Aya Hatano-Iwasaki (RIBS Okayama & JST, CREST) : Biomass production is promoted by increasing an aldolase undergoing glutathionylation in *Arabidopsis thaliana*, the 11<sup>th</sup> Nordic Photosynthesis Congress, Turku, Finland, Sep 11-14, 2013
37. Aya Hatano-Iwasaki1, Tatsuya Awano2, Kazunori Hayashi3, Yuri Okubo2, Keiji Takabe2, Akiyoshi Kawaoka3, and Ken'ichi Ogawa 1,4 (1 RIBS Okayama, 2 Fac. of Agri., Kyoto Univ., 3 Agri-Biotechnol. Res. Lab., Nippon Paper Industries, 4 JST, CREST): Glutathione feeding promotes photosynthetic electron transfer rate and biomass productivity in Blue Gum *Eucalyptus globulus*, Okayama University International Symposium “Structure and Dynamics of Photosynthetic Systems”, Okayama, October 22-23, 2012
38. Aya Hatano-Iwasaki, Ken'ichi Ogawa (RIBS Okayama & JST, CREST) : Biomass production is promoted by increasing an aldolase undergoing glutathionylation in *Arabidopsis thaliana*, Okayama University International Symposium “Structure and Dynamics of Photosynthetic Systems”, Okayama, October 22-23, 2012
39. Aya Nohno, Aya Hatano-Iwasaki, Ken'ichi Ogawa (RIBS Okayama & JST, CREST): Okayama University International Symposium “Structure and Dynamics

- of Photosynthetic Systems”, Okayama, October 22-23, 2012
40. Takagi J.1, Renna L.2, Takahashi H.1, Koumoto Y.1, Tamura K.1, Stefano G.2, Fukao Y.3, Kondo M.4, Nishimura N.4, Shimada T.1, Brandizzi F.2 and Hara-Nishimura I.1 (1. Kyoto Univ., 2. Michigan State University, 3. NAIST, 4. NIBB): MAIGO5 regulates protein export from the endoplasmic reticulum at Golgi-associated ER exit sites in Arabidopsis. The 4th NIBB-MPIPZ-TLL Symposium Okazaki Conference Centre, Okazaki, Japan, November 19-21, 2012
  41. Teh O-K.1, Tamura, K.1, Shimada, T.1 and Hara-Nishimura, I.1 (1. Kyoto Univ.): The Arabidopsis BEACH proteins act epistatically to mediate storage protein trafficking in seeds. The 4th NIBB-MPIPZ-TLL Symposium Okazaki Conference Centre, Okazaki, Japan, November 19-21, 2012
  42. Li, L.1, Shimada, T.2, Takahashi, H.2, Koumoto, Y.2, Shirakawa, M.2, Takagi, J.2, Tu, B.1, Jin, H.1, Han, B.1, Jia, M.1, Kondo, M.3, Nishimura, M.3, and Hara-Nishimura, I.2 (1. Northeast Forestry Univ., 2. Kyoto Univ., 3. NIBB): MAIGO2-containing tethering complex regulates the protein transport between ER and Golgi. The 4th NIBB-MPIPZ-TLL Symposium Okazaki Conference Centre, Okazaki, Japan, November 19-21, 2012
  43. Ichino T., Fuji K., Takahashi H., Koumoto Y., Tamura K., Shimada T. and Hara-Nishimura I. (Kyoto Univ.): An Arabidopsis vacuolar sorting factor, GFS9, is involved in vacuolar morphogenesis and plant development. International Workshop on Plant Membrane Biology XVI., Kurashiki, March 26-31, 2013
  44. 杉本広樹、近藤聡、田中倫子、今村千絵、村本伸彦、服部悦子、田中秀典、北川律子、小川健一、光川典宏、大音徳: AtPP2CF1 の過剰発現は花茎の成長促進により植物バイオマスの増産につながる、第 55 回日本植物生理学会年会、富山市、2014 年 3 月 18 日－20 日
  45. 田村 はるか、岩崎(葉田野)郁、小川 健一: グルタチオン結合性アルドラーゼの精製および機能解析、第 55 回日本植物生理学会年会、富山市、2014 年 3 月 18 日－20 日
  46. 大野隆史、高部圭司、岩崎(葉田野)郁、逸見健司、小川健一: グルタチオン処理シロイヌナズナにおいて誘導される糖飢餓シグナルの効果、第 55 回日本植物生理学会年会、富山市、2014 年 3 月 18 日－20 日
  47. Nobuaki Urata, Naoki Negishi, Mikiko Kojima, Hitoshi Sakakibara, Ken'ichi Ogawa, Akiyoshi Kawaoka: Effect of oxidative glutathione on adventitious root formation in *Eucalyptus globulus*, 第 55 回日本植物生理学会年会、富山市、2014 年 3 月 18 日－20 日
  48. Ken'ichi Ogawa, Aya Hatano-Iwasaki1, Kazunori Hayashi, Tatsuya Awano, Yuri Okubo, Tadashi Hayakawa, Keiji Takabe, and Akiyoshi Kawaoka: Glutathione feeding promotes photosynthetic electron transfer rate and biomass productivity in Blue Gum (*Eucalyptus globulus*) in the 16<sup>th</sup> International Congress on Photosynthesis Research, St.Louis, August 11-16, 2013
  49. Akiyoshi Kawaoka: Oxidative glutathione (GSSG) promotes adventitious root formation in *Eucalyptus globulus*, IUFRO Tree Biotechnology, Asheville, 2013 年 5 月 27 日
  50. Naoki Kawachi, Atsushi Koyanagi, Nobuo Suzui, Satomi Ishii, Yong-Gen Yin, Aya Iwasaki, Ken'ichi Ogawa, Hiroaki Shimada, Shu Fujimaki: A New “On-Dish” Imaging Method to Analyze Individual Photosynthetic Abilities of Small Plant Seedlings Using Positron-Emitting Tracer Imaging System (PETIS), XVII International Plant Nutrition Colloquium, イスタンブール(トルコ), 2013 年 8 月 19 日～22 日
  51. 西川正信: グルタチオン技術を利用した微細藻類による微小デンブンの生産、第 19 回岡山リサーチパーク研究・展示発表会、岡山、2014 年 9 月 3 日

52. 西川正信、清川一矢、高部圭司、小川健一: クラミドモナス GSH1 過剰発現株が弱光下において示す非光化学消光(NPQ)について、第14回RIBSバイオサイエンスシンポジウム、岡山、2014年11月14日
53. Szu Lun Lai, Ken'ichi Ogawa, Syoichi Ichihashi, Wei Ting Tsai: Effects of glutathione on the growth and flowering of *Oncidium*, the Annual Symposium of Taiwan Horticulture Society, Taipei, January 29, 2015
54. Shoji Mano, Masatake Kanai, Tsuyoshi Nakagawa, Tetsuya Kimura, Mikio Nishimura: Development and application of new gateway vectors for plants, Tree and Crop Technology for Improving Quality and Productivity of Food and Biomaterials: Toward Achieving Another Green Revolution, "Glutathione Agriculture", Tokyo, Japan, February 14, 2015
55. Aya Hatano-Iwasaki, Kenji Henmi, Ken'ichi Ogawa: Effects of glutathione feeding on photosynthesis in *Arabidopsis thaliana*, Tree and Crop Technology for Improving Quality and Productivity of Food and Biomaterials: Toward Achieving Another Green Revolution, "Glutathione Agriculture", Tokyo, Japan, February 14, 2015
56. Aya Hatano-Iwasaki, Kazunori Hayashi, Tatsuya Awano, Keiji Takabe, Akiyoshi Kawaoka, Ken'ichi Ogawa: Effects of oxidized glutathione feeding on photosynthesis and biomass production in *Eucalyptus globulus*, Tree and Crop Technology for Improving Quality and Productivity of Food and Biomaterials: Toward Achieving Another Green Revolution, "Glutathione Agriculture", Tokyo, Japan, February 14, 2015
57. Kenji Henmi, Aya Hatano-Iwasaki, Ken'ichi Ogawa: Effects of glutathione on the yield in soybean, Tree and Crop Technology for Improving Quality and Productivity of Food and Biomaterials: Toward Achieving Another Green Revolution, "Glutathione Agriculture", Tokyo, Japan, February 14, 2015
58. Shin-ichi Nakamura: Effects of glutathione on soy plants grown in a field (Ogata-Mura, Akita), Tree and Crop Technology for Improving Quality and Productivity of Food and Biomaterials: Toward Achieving Another Green Revolution, "Glutathione Agriculture", Tokyo, Japan, February 14, 2015
59. Nobuyuki Okuda, Yuki Sato, Kanami Daikoku, Mohammed Strage Yesuf, Ken'ichi Ogawa: Effects of glutathione blended fertilizer on the growth and development of asparagus
60. Szu Lun Lai, Ken'ichi Ogawa, Syoichi Ichihashi, Wei Ting Tsai: Effects of glutathione on the growth and flowering of *Oncidium*, Tree and Crop Technology for Improving Quality and Productivity of Food and Biomaterials: Toward Achieving Another Green Revolution, "Glutathione Agriculture", Tokyo, Japan, February 14, 2015
61. Masanobu Nishikawa, Kazuya Kiyokawa, Ken'ichi Ogawa: Efficient production of fine starch granules using *Chlamydomonas* cells with genetically modified glutathione metabolism, Tree and Crop Technology for Improving Quality and Productivity of Food and Biomaterials: Toward Achieving Another Green Revolution, "Glutathione Agriculture", Tokyo, Japan, February 14, 2015
62. Naoki Kawachi, Nobuo Suzui, Satomi Ishii, Yong Gen Yin, Aya Hatano Iwasaki, Ken'ichi Ogawa, Shu Fujimaki: Live-imaging of carbon fixation and translocation in an intact plant: Quantitative analysis of effects of glutathione treatment, Tree and Crop Technology for Improving Quality and Productivity of Food and Biomaterials: Toward Achieving Another Green Revolution, "Glutathione Agriculture", Tokyo, Japan, February 14, 2015

63. Toshinobu Aramaki: The distribution of oxidized glutathione (GSSG) in Arabidopsis by imaging analysis using radio-labeled compounds, Tree and Crop Technology for Improving Quality and Productivity of Food and Biomaterials: Toward Achieving Another Green Revolution, “Glutathione Agriculture”, Tokyo, Japan, February 14, 2015
64. 逸見健司、岩崎(葉田野)郁、小川健一:「植物の生産力を飛躍的にあげる新技術開発〜グルタチオン農業の実力〜、平成 26 年度県立研究機関協議会研究交流発表会、総社市、2015 年 2 月 18 日
65. 岩崎(葉田野)郁、林和典、栗野達也、高部圭司、河岡明義、小川健一: ユーカリ光合成に対する酸化型グルタチオンの効果、日本植物生理学会第 56 回年会、東京、2015 年 3 月 16 日
66. 逸見健司、中川昌人、長尾伸一郎、秋山俊彦、小川健一: デントコーンの生育ステージによるグルタチオンの収量に対する効果、日本植物生理学会第 56 回年会、東京、2015 年 3 月 16 日
67. 浦田信明、根岸直希、小嶋美紀子、榊原均、小川健一、河岡明義: Physiological analysis of GSSG for promotion of adventitious root formation、日本植物生理学会第 56 回年会、東京、2015 年 3 月 16 日
68. 大野隆史、越久由美子、高部圭司、小川健一: グルタチオン施用により最も発現増加する遺伝子の細胞壁形成への関与、日本植物生理学会第 56 回年会、東京、2015 年 3 月 16 日

#### (4)知財出願

##### ①国内出願 (6件)

1. 発明名称:植物中の脂肪酸の含有量を非破壊で測定する方法、及びその利用  
発明者:小川健一、樋渡史子、天野敏男  
出願人:岡山県、システムズエンジニアリング(株)  
出願日:平成 22 年 3 月 16 日  
出願番号:特願 2010-059431
2. 発明名称:光合成産物の生産性を向上させた藻類およびその利用  
発明者:小川健一、西川正信  
出願人:JST  
出願日:平成 22 年 8 月 31 日  
出願番号:特願 2010-194210
3. 発明名称:クローン苗の生産方法  
発明者:小川健一、松永悦子、根岸直希、大石正淳、河合史樹、田邊明義、河岡明義  
出願人:岡山県、日本製紙(株)  
出願日:平成 24 年 6 月 8 日  
出願番号:特願 2011-545244
4. 発明名称:植物の収穫時バイオマス量の管理方法、及び管理システム  
発明者:小川健一  
出願人:JST  
出願日:平成 23 年 11 月 2 日  
出願番号:特願 2011-241633
5. 発明名称:植物のアミノ酸含量を高めるための化合物およびその利用

発明者:小川健一、逸見健司、岩崎郁  
出願人:岡山県  
出願日:平成 23 年 12 月 12 日  
出願番号:特願 2011-271662

6. 発明名称:植物に環境ストレス耐性を付与する方法  
発明者:小川健一、逸見健司、近藤聡、大音徳、  
出願人:岡山県、トヨタ自動車(株)  
出願日:平成 24 年 4 月 18 日  
出願番号:特願 2012-094931

②海外出願 (5件)

7. 発明名称:光合成産物の生産性を向上させた藻類およびその利用  
発明者:小川健一、西川正信  
出願人:JST  
出願日:平成 23 年 8 月 29 日  
出願番号:PCT/JP2011/069501  
出願国:P C T および 台湾
8. 発明名称:クローン苗の生産方法  
発明者:小川健一、松永悦子、根岸直希、大石正淳、河合史樹、田邊明義、河岡明義  
出願人:岡山県、日本製紙(株)  
出願日:平成 22 年 12 月 9 日  
出願番号:PCT/JP2010/072137  
出願国:P C T
9. 発明の名称:ポリペプチド、気孔増加剤、植物における機構の数および／または  
密度の増加方法ならびに植物  
発明者:、西村いくこ  
出願人:京都大学  
出願日:平成 22 年 12 月 7 日  
出願番号:PCT/JP2010/071934  
出願国:P C T
10. 発明の名称:植物の収穫時バイオマス量の管理方法、及び管理システム  
発明者:小川健一  
出願人:JST  
出願日:平成 25 年 4 月 17 日  
出願番号:PCT/JP2012/078073  
出願国:PCT
11. 発明の名称:植物のアミノ酸含量を高めるための化合物およびその利用  
発明者:小川健一、逸見健司、岩崎郁  
出願人:岡山県  
出願日:平成 25 年 4 月 17 日  
出願番号:PCT/JP2013/061399  
出願国:PCT および台湾

(5)受賞・報道等

①受賞

- ・小川健一(日本植物調節剤研究協会<植調協会>功労賞)
- ・西村いくこ(紫綬褒章)

②マスコミ(新聞・TV等)報道

・グルタチオン農業

日経バイオテク 平成 21 年 12 月 8 日オンライン版

日本経済新聞平成 23 年 2 月 17 日夕刊 3 面および電子版

日本経済新聞平成 23 年 2 月 18 日電子版

各紙平成25年2月18日(グルタチオン農業資材の販売決定について)

・細胞の原形質流動のしくみを解く～ 200 年来の植物細胞の謎に迫る ～

京都新聞(平成 22 年 3 月 23 日 22 面)、日刊工業新聞(平成 22 年 3 月 23 日 14 面)および毎日新聞(平成 22 年 3 月 23 日 3 面)に掲載.

(6)成果展開事例

①実用化に向けての展開

・グルタチオンの農業上でのメリットが確認され、グルタチオン製造会社からの販売に関するプレスリリースがなされた。普及に向けた技術の最適化に向けて国内外の関係団体、企業とともに活動を継続中である。

・グルタチオンの農業利用に向けたサトウキビ実証試験について、農林水産省技術会議の実施する「攻めの農業」プロジェクト(H26,繰り越しによって H27 も実施)で、JIRCAS とともに実証試験中である。

## § 5 研究期間中の活動

### 5. 1 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

| 年月日                  | 名称                           | 場所                                 | 参加人数    | 概要                                                    |
|----------------------|------------------------------|------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------|
| 平成 21 年<br>12 月 15 日 | チーム内キックオフミーティング              | 京都大学時計台第 3 会議室                     | 19 名    | H21 年の準備状況および計画の確認。研究の推進打ち合わせ。                        |
| 平成 22 年<br>3 月 20 日  | 日本植物生理学会年会シンポジウム             | 熊本大学黒髪キャンパス                        | 200 名程度 | 動物および植物における、グルタチオンを含めた酸化還元調節機構の重要性を紹介するためのシンポジウムであった。 |
| 平成 22 年<br>7 月 29 日  | 中高生向け一般公開&教員向け特別授業           | 岡山県農林水産総合センター生物科学研究所 & 岡山県総合教育センター | 15 人    | 中学生と高校生、中学・高校教員向け講演および特別実習                            |
| 平成 24 年<br>8 月 2 日   | 中高生向け一般公開                    | 岡山県農林水産総合センター生物科学研究所               | 15 人    | 高校生向け講演および特別実習                                        |
| 平成 25 年<br>11 月 15 日 | 光合成学会一般講座／RIBSバイオサイエンスシンポジウム | 岡山県国際交流センター                        | 150 人   | 理系知識のある一般聴講者向けのシンポジウム                                 |
| 平成 26 年<br>8 月 1 日   | 中高生向け一般公開                    | 岡山県農林水産総合センター生物科学研究所               | 11 人    | 高校生向け講演および特別実習                                        |
| 平成 27 年<br>2 月 14 日  | 本 CREST プロジェクト成果を中心のシンポジウム   | 東京大学一条ホール                          | 60 人    | 小川チーム成果を中心にしたシンポジウムで技術の優位性を社会に発信するための会                |

## § 6 最後に

豪州調査地にて

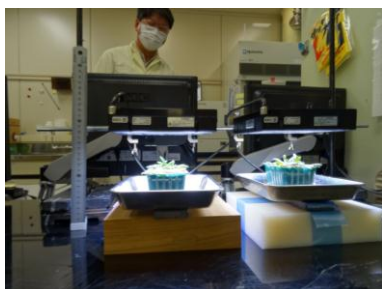
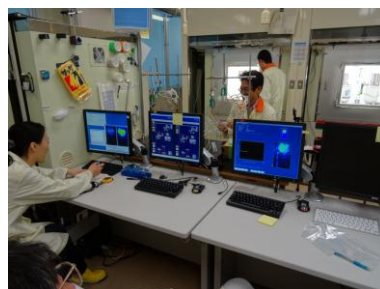


チーム内ミーティング集合写真





PETIS 実験(高崎)



キャッサバ収穫(ベトナム)

