

戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)

日本－欧州共同研究

終了報告書 概要

1. 研究課題名：持続的な作物生産のためのジャガイモとキャッサバの比較オミックス解析
2. 研究期間：2017年4月～2021年3月
3. 主な参加研究者名：

日本側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	関 原明	チームリーダー	理化学研究所 環境資源科学 研究センター	プロジェクトリ ーダー
主たる 共同研究者	内海 好規	研究員	同上	サブプロジェク トリーダー
研究参加者	内海 稚佳子	テクニカルスタ ッフ	同上	形質転換
研究参加者	田中 真帆	同上	同上	遺伝子発現解析
研究参加者	岡本 芳恵	パートタイマー	同上	実験サポート
研究参加者	宮本 恵	パートタイマー	同上	同上
研究期間中の全参加研究者数 6名				

相手側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代 表者	Salomé Prat	教授	スペイン国立バイオテクノ ロジーセンター (CNB-CSIC)	プロジェクトリーダ ー
主たる 共同研 究者	Uwe Sonnewald	教授	フリードリヒ・アレクサンダー 大学エアランゲン-ニュルン ベルク (FAU)	プロジェクトリーダ ー(ドイツ)
研究参 加者	Sophia Sonnewald	グループ リーダー	FAU	ジャガイモ研究の コーディネーター
同上	Frank Ludewig	グループ リーダー	FAU	キャッサバ研究の コーディネーター
同上	Günter Lehretz	ポスドク	FAU	ジャガイモ研究
同上	Janine Bergmann	PhD学生	FAU	キャッサバ研究
研究期間中の全参加研究者数 8名				

4. 国際共同研究の概要：本研究では、3つの研究グループ(理研、CNB-CSIC、FNU)が連

携して、塊根植物キャッサバと塊茎植物ジャガイモの貯蔵器官の比較統合オミックス解析（遺伝子発現、代謝物、植物ホルモン量の変動）と形態学的研究を実施し、貯蔵器官形成における細胞分化の制御機構と環境要因が塊根・塊茎形成に影響を及ぼす分子メカニズムを解明することを目指して研究を進め、以下の重要な知見を得た。国際共同研究により世界に先駆けてキャッサバ塊根形成の分子メカニズムを解明した。1)塊根形成にはオーキシンとサイトカニンが主要な役割を担うこと、2)ジャスモン酸とアブシジン酸は塊根の形成を阻害すること、3)ジャスモン酸の役割がキャッサバとジャガイモで異なること、を明らかにした。サイトカニン応答性の *TCS* 遺伝子プロモーターと *GUS* 遺伝子のコンストラクト (INTACT 技術) をキャッサバに導入し発現解析を進め、塊根形成時の細胞分裂の配向性、細胞分裂の活性化領域を紐解くための重要な知見を得た。光呼吸の影響を軽減することを目指して、大腸菌由来の *Glycolate Dehydrogenase* (*EcGlyDH*) 遺伝子の過剰発現キャッサバおよびジャガイモを作成して評価を進めた。キャッサバの塊根形成が日長に依存的なシグナルに応答することを明らかにした。今後、構築した研究ネットワークを活用し研究の推進により、塊根の早熟性に関わる遺伝子の同定やキャッサバおよびジャガイモの生産性向上への応用が期待される。

5. 国際共同研究の成果

5-1 国際共同研究の学術成果および実施内容：キャッサバ塊根形成過程の植物ホルモン動態を統合オミックス解析と独自に開発した塊根誘導実験系から明らかにした。キャッサバの塊根形成が日長に依存的なシグナルに応答することを明らかにした。キャッサバ塊根とジャガイモ塊茎の形成の分子機構に共通点および相違が存在することを明らかにした。INTACT 技術 (*TCS* プロモーター+*GUS* の利用) をキャッサバとジャガイモに導入して、塊根形成時の細胞分裂の配向性、細胞分裂の活性化領域を紐解くことが可能となった。高温ストレス時の光呼吸の影響を軽減することを目指して、*EcGlyDH* 遺伝子の過剰発現キャッサバおよびジャガイモを作成し、高温ストレスの影響を評価するシステムを構築した。

5-2 国際共同研究による相乗効果：日本側代表者のこれまでのキャッサバ研究ネットワークはアジア諸国との連携がほとんどで、欧州のキャッサバ研究者とのネットワークは弱かった。本研究の実施により欧州のキャッサバ・ジャガイモ研究者と強い研究ネットワークを構築することができた。欧州側研究者はアフリカ研究者とキャッサバの連携研究を進めているので、今後キャッサバ研究を世界に展開する際、欧州側研究者と構築したネットワークを活用していきたいと考えている。また、本事業の実施により、若手研究者が塊根・塊茎の分子育種、分子メカニズム解明に必要な研究基盤を把握し、世界の塊根・塊茎の研究者とのネットワーク構築もできた。本事業の参画研究者は、今後構築したネットワークを活用し、本分野の国際共同研究の中核メンバーとして将来活躍することが期待できる。

5-3 国際共同研究成果の波及効果と今後の展望：本研究で得られた成果物の解析と共同研究を通じて、日長制御に関わる遺伝子同定や光呼吸に関わる代謝系の最適化技術を構築する。開発技術を応用に近づけることにより、持続可能な開発目標 (SDGs) 「目標 2：飢餓をゼロに」や「目標 13：気候変動に具体的な対策を」への貢献を目指す。新たな競争的研

SICORP 終了報告書（関・Prat・Sonnewald、COSMIC）

究資金の獲得を進め、今後も協調関係を継続発展させる予定である。

Strategic International Collaborative Research Program (SICORP)

Japan – Europe Joint Research Program

Executive Summary of Final Report

1. **Project title** : Comparative potato and cassava OMICS for sustainable crop production (COSMIC)

2. **Research period** : Apr., 2017 ~ Mar., 2021

3. **Main participants** :

Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Motoaki Seki	Team Leader	RIKEN CSRS	Project Leader in Japan
Co-PI	Yoshinori Utsumi	Research Scientist	RIKEN CSRS	Sub-project Leader in Japan
Collaborator	Chikako Utsumi	Technical Staff (T.S.)	RIKEN CSRS	Transformation
Collaborator	Maho Tanaka	T.S.	RIKEN CSRS	Transcriptome
Collaborator	Yoshie Okamoto	Part Timer	RIKEN CSRS	Exp. support
Collaborator	Megumi Miyamoto	Part Timer	RIKEN CSRS	Exp. support
Total number of participants throughout the research period: 6				

Partner-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Salomé Prat	Professor	CNB-CSIC	Project Leader
Co-PI	Uwe Sonnewald	Professor	FAU	PI in Germany
Collaborator	Sophia Sonnewald	Group Leader	FAU	Potato research
Collaborator	Frank Ludewig	Group Leader	FAU	Cassava research
Collaborator	Günter Lehretz	Postdoc	FAU	Potato research
Collaborator	Janine	PhD	FAU	Cassava research

	Bergmann	student		
Total number of participants throughout the research period:				8

4. Summary of the international joint research: Three groups (RIKEN, CNB-CSIC, FNU) have conducted integrated omics analysis (transcriptome, metabolome, and hormonome) using storage organs of cassava and potato, and morphological studies on cell differentiation and elongation of storage organs. The purpose of this study is to elucidate the molecular mechanisms (factors and process of cell differentiation etc) of storage organ formation. In this study, we demonstrated that cytokinin and auxin play a major role in tuberous formation in cassava and the role of jasmonic acid is different between cassava and potato. INTACT technologies were developed and transformed into cassava and potato to carry out morphological studies on cambium cell differentiation and cell elongation. *Glycolate Dehydrogenase (EcGlyDH)*-overexpressing cassava and potato plants were prepared. We also found that cassava root formation responds to photoperiod-dependent signals. In the future, it is expected that the genes involved in early bulking of tuber will be identified and practical technologies for avoidance of energy loss in photorespiration will be developed by promoting the ongoing research, resulting in the improvement of productivity of cassava and potato.

5. Outcomes of the international joint research

5-1 Scientific outputs and implemented activities of the joint research: The phytohormonal dynamics of cassava tuberous root formation process were clarified by integrated omics analysis and the *in vitro* tuber formation assay. INTACT technologies were developed to clarify the orientation of cell division and the activation region of cell division during tuber formation. *EcGlyDH*-overexpressing cassava and potato were created to reduce the effects of photorespiration under the high temperature stress.

5-2 Synergistic effects of the joint research: We could strengthen the research networks among each institute. Through the research activities, we could develop human resources that can understand the global cassava and potato research projects necessary for molecular breeding and the elucidation of the molecular mechanisms.

5-3 Scientific, industrial or societal impacts/effects of the outputs: We will perform the identification of candidate genes related to tuber development under photoperiod control and the optimization of metabolic system involved in photorespiration under high temperature through the analysis of the results obtained in this study in collaboration with each institute. The international brain circulation was established through the participation in the workshop of young researchers. We will continue to develop the cooperative relationship through the acquisition of new competitive research funds.

国際共同研究における主要な研究成果リスト

1. 論文発表等

* 原著論文 (相手側研究チームとの共著論文) 発表件数：計 0 件

・ 査読有り：発表件数：計 0 件

・ 査読無し：発表件数：計 0 件

* 原著論文 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの論文)：発表件数：計 3 件

・ 査読有り：発表件数：計 3 件 (日本側研究チームのプロジェクトリーダーを二重下線、サブプロジェクトリーダーを一重下線、それ以外の参加者を点線で示す)

1. Tokunaga, H., Baba, T., Ishitani, M., Ito, K., Kim, O.K., Le, H.H., Le, H.K., Maejima, K., Namba, S., Natsuaki, K.T., Nguyen, D.V., Nguyen, H.H., Nguyen, N.C., Nguyen, V.A., Nomura, H., Seki, M., Srean, P., Tanaka, H., Touch, B., Trinh, H.X., Ugaki, M., Uke, A., Utsumi, Y., Wongtiem, P. and Takasu, K. (2018) Sustainable Management of Invasive Pests of Cassava in Vietnam, Cambodia and Thailand. In “**Crop Production under Stressful Conditions: Application of Cutting-edge Science and Technology in Developing Countries (Edited by Drs. Makie Kokubun and Shuichi Asanuma)**”, Springer, pp. 131-157, doi: 10.1007/978-981-10-7308-3_8
2. Malik, A.I., Kongsil, P., Nguyen, A.V., Ou, W., Sholihin, Srean, P., Sheela, M.N., Lopez-Lavalle, L.A.B., Utsumi, Y., Lu, C., Kittipadakul, P., Nguyen, H.H., Ceballos, H., Nguyen, T.H., Gomez, M.S., Aiemnaka, P., Labarta, R., Chen, S., Amawan, S., Sok, S., Youabee, L., Seki, M., Tokunaga, H., Wang, W., Li, K., Nguyen, H.A., Nguyen, V.D., Ham, L.H. and Ishitani, M. (2020) Cassava breeding and agronomy in Asia - 50 years of history and future directions. **Breed. Sci.** 70:145-166. doi: 10.1270/jsbbs.18180.
3. Utsumi, Y., Tanaka, M., Utsumi, C., Takahashi, S., Matsui, A., Fukushima, A., Kobayashi, M., Sasaki, R., Oikawa, A., Kusano, M., Saito, K., Kojima, M., Sakakibara, H., Sojikul, P., Narangajavana, J. and Seki, M. (2020) Integrative omics approaches revealed a crosstalk among phytohormones during tuberous root development in cassava. **Plant Mol. Biol.**, doi: 10.1007/s11103-020-01033-8.

・ 査読無し：発表件数：計 0 件

* その他の著作物 (相手側研究チームとの共著総説、書籍など)：発表件数：計 0 件

* その他の著作物 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの総説、書籍など)：
発表件数：計 1 件 (日本側研究チームのプロジェクトリーダーを二重下線、サブプロジェクトリーダーを一重下線、それ以外の参加者を点線で示す)

4. Seki, M., Tokunaga, H., Utsumi, C., Okamoto, Y., Moriya, E., Vu, T.A., Sakamoto, A., Takei, Y., Sakurai, T., Endo, M., Mikami, M., Toki, S., Tsuji, H., Jarunya Narangajavana,

J., Triwitayakorn, K., Sojikul, P., Nguyen, A.H., Do, Q.T.N., Nguyen D.V., Nguyen, A.V., Le, H.H., Pham, N.T., Nguyen, H.H., Touch, B., Srean, P., Wongtiem, P., Ishitani, M. and Utsumi, Y. (2018) Advancement of Asian Cassava Molecular Breeding towards SDGs. **Proceedings of the 18th Science Council of Asia (SCA) Conference "Role of Science for Society: Strategies towards SDGs in Asia"**, Dec. 5-7, 2018, Tokyo, Japan, Theme 10, 6.

2. 学会発表

* 口頭発表 (相手側研究チームとの連名発表)

発表件数：計 0 件 (うち招待講演：0 件)

* 口頭発表 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数：計 7 件 (うち招待講演：6 件) (日本側研究チームのプロジェクトリーダーを二重下線、サブプロジェクトリーダーを一重下線、それ以外の参加者を点線で示す)

1. **Seki, M.**, Tokunaga, H., Utsumi, C., Okamoto, Y., Moriya, E., Vu, T.A., Sakamoto, A., Takei, Y., Sakurai, T., Endo, M., Mikami, M., Toki, S., Tsuji, H., Jarunya Narangajavana, J., Triwitayakorn, K., Sojikul, P., Nguyen, A.H., Do, Q.T.N., Nguyen D.V., Nguyen, A.V., Le, H.H., Pham, N.T., Nguyen, H.H., Touch, B., Srean, P., Wongtiem, P., Ishitani, M. and Utsumi, Y. (2018) Advancement of Asian Cassava Molecular Breeding towards SDGs. Proceedings of the 18th Science Council of Asia (SCA) Conference, Tokyo, Japan, Dec. 5-7, 2018 (招待講演)
2. Utsumi, Y., Utsumi, C., Okamoto, Y., Moriya, E., Tanaka, M. and **Seki, M.** Formation of friable embryogenic callus in cassava cultivar "KU50" is observed under conditions of reduced nitrate, potassium and phosphate. **The Fourth Scientific Conference of the Global Cassava Partnership for the 21st – GCP21-IV**, Cotonou, Republic of Benin, 2018 年 6 月 12 日 (招待講演)
3. Tokunaga, H., Nguyen A.H., Nguyen, H.H., Ishitani, M., Takasu, K., Touch B, Utsumi Y., Nguyen, V.A., Wongtiem, P. and **Seki, M.** Developing a sustainable seed system for cassava in Southeast Asia. **The Fourth Scientific Conference of the Global Cassava Partnership for the 21st – GCP21-IV**, Cotonou, Republic of Benin, 2018 年 6 月 12 日 (招待講演)
4. Tokunaga, H., Nguyen, A.H., Anh V.T., Behnam, B., Ishitani, M., Quynh, D.T., Tsuji, H., Utsumi, Y., Vu N.A. and **Seki, M.** Studies on key environmental factors affecting flower formation and branch development in cassava. **The Fourth Scientific Conference of the Global Cassava Partnership for the 21st – GCP21-IV**, Cotonou, Republic of Benin, 2018 年 6 月 14 日 (招待講演)

5. Utsumi, Y., Tanaka, M., Utsumi, C., Okamoto, Y., Moriya, E., Tokunaga, H. and Seki, M. Understanding the Molecular Mechanism of the Effect to Day-Length on Tuberous Root Development in Cassava (Manihot esculenta Crantz), **The Fourth Scientific Conference of the Global Cassava Partnership for the 21st – GCP21-IV**, Cotonou, Republic of Benin, 2018 年 6 月 14 日
6. Utsumi, Y., Tanaka, M., Utsumi, C., Takahashi, S., Okamoto, Y., Moriya, E. and Seki, M. Identification of Genes and Enzymes Encoding Starch Biosynthesis on Cassava (Manihot esculenta Crantz), **The Fourth Scientific Conference of the Global Cassava Partnership for the 21st – GCP21-IV**, Cotonou, Republic of Benin, 2018 年 6 月 14 日 (招待講演)
7. Utsumi, Y., Tokunaga, H., Utsumi, C., Okamoto, Y., Moriya, E., Vu, T.A., Sakamoto, A., Takei, Y., Sakurai, T., Endo, M., Mikami, M., Toki, S., Tsuji, H., Narangajavana, J., Triwitayakorn, K., Sojikul, P., Nguyen, A.H., Do, Q.T.N., Nguyen, D.V., Nguyen, V.A., Le, H.H., Pham, N.T., Nguyen, H.H., Touch, B., Srean, P., Wongtiem, P., Ishitani, M. and Seki, M. Advancement of Cassava Molecular Breeding in east-Asia, **The Plant and Animal Genome XXVII Conference (PAG)**、San Diego、USA、2019 年 1 月 16 日 (招待講演)

* ポスター発表 (相手側研究チームとの連名発表)

発表件数：計 0 件

* ポスター発表 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数：計 0 件

3. 主催したワークショップ・セミナー・シンポジウム等の開催

1. EIG CONCERT COSMIC Project. Kick-off meeting、主催者:Salomé Prat (CNB-CSIC、教授)、場所:スペイン国立バイオテクノロジーセンター(CNB-CSIC、マドリード、スペイン)、期間:2017/11/12~2017/11/14、参加人数:15 名
2. EIG CONCERT COSMIC Project. Mini-workshop at RKEN Yokohama、主催者:関原明(理研、チームリーダー)、場所:理研横浜キャンパス(横浜、日本)、期間:2018/5/6~2018/5/10、参加人数:30 名
3. COSMIC Workshop "Physiology meets development – metabolic and molecular control of crop yield"、主催者:Uwe Sonnewald (FAU、教授)、場所:Welcome Hotel Bamberg (バンベルグ、ドイツ)、期間:2018/9/16~2018/9/18、参加人数:40 名
4. RIKEN CSRS Seminar for COSMIC project、主催者:関原明(理研、チームリーダー)、場所:理研横浜キャンパス(横浜、日本)、期間:2019/6/10、参加人数:30 名
5. COSMIC Workshop "Physiology meets structure - Integrative models for assimilate transport"、主催者:Uwe Sonnewald (FAU、教授)、場所:Welcome Hotel Bamberg

(バンベルグ、ドイツ)、期間：2019/9/22～2019/9/24、参加人数：30名

4. 研究交流の実績 (主要な実績)

- 2017年11月：日本から2名(関原明チームリーダーと内海好規研究員)が1週間相手研究機関(スペイン)を訪問した。共同研究に関して打ち合わせを行った。
- 2018年5月：スペインから1名(Salomé Prat教授)とドイツから2名(Sophia Sonnewald教授とJanine Bergmannさん博士後期課程学生)が一週間理研(日本)を訪問した。Dr. Salomé Prat、Dr. Sophia Sonnewald、Ms. Janine Klima、Dr. Yoshinori Utsumiが理研で開催のキャッサバミニワークショップで招待講演するとともに共同研究の打ち合わせを行った。
- 2018年9月：日本から2名(関原明チームリーダーと内海好規研究員)が1週間相手研究機関(ドイツ)に訪問した。COSMIC Workshop “Physiology meets development – metabolic and molecular control of crop yield”を開催し、Dr. Salomé Prat、Dr. Uwe Sonnewald、Dr. Motoaki Seki、Dr. Yoshinori Utsumiが招待講演した。共同研究に関する打ち合わせも行った。
- 2019年6月：スペインから1名(Salomé Prat教授)とドイツから1名(Uwe Sonnewald教授)が一週間理研(日本)を訪問した。キャッサバミニワークショップを開催し、Dr. Salomé PratおよびDr. Uwe Sonnewaldが招待講演するとともに共同研究の打ち合わせを行った。
- 2019年9月：日本から2名(関原明チームリーダーと内海好規研究員)が1週間相手研究機関(ドイツ)を訪問した。COSMIC Workshop “Physiology meets structure – Integrative models for assimilate transport”を開催し、Dr. Salomé Prat、Dr. Uwe Sonnewald、Dr. Motoaki Seki、Dr. Yoshinori Utsumiが招待講演した。共同研究に関する打ち合わせも行った。

5. 特許出願

研究期間累積出願件数：0件

6. 受賞・新聞報道等

- 関原明、Highly Cited Researchers 2017, 2018, 2019, 2020, クラリベイトアナリティクス社
- 内海好規、2017年理研研究奨励賞

7. その他

1. 研究成果のプレスリリースを行った。

キャッサバ塊根の形成メカニズムを解明－塊根の生産性向上に向けた有用な基盤知見の取得に貢献－ (https://www.riken.jp/press/2020/20200805_1/index.html)

上記プレスリリースの後、研究成果は、JST News (2020年11月号；<https://www.jst.go.jp/pr/jst-news/backnumber/2020/202011/index.html>) やフジサンケイビジネスアイ Science View (2020年9月17日) などでも紹介された。

- 2. 2019年12月に理研で第1回キャッサバ研究会「キャッサバ研究の今後について考える」を開催し、国内におけるキャッサバ研究ネットワークの強化を進めた。**