

案件名	窒素利用効率の高度化による農業生産由来の温室効果ガスの削減
派遣専門家	小出隆広
所属機関 (※)	北海道大学 大学院農学院 環境資源学部門 地域環境学分野・専門研究員 (※)
相手国研究機関	国際熱帯農業センター (International Center for Tropical Agriculture)

※派遣時の所属機関

水田からの温室効果ガス測定方法の確立

(平成 23 年 1 月 ～ 6 月)

近年の研究は、大気中の温室効果ガスの増加とそれに伴う地球温暖化が起これつつあることを明らかにしてきた。中でも亜酸化窒素は、肥料として窒素を大量に使用する農業由来のものが大きな割合を占める。よって、新しい農業技術の普及を通じてこれの放出を抑制する事は重要である。一つの可能性として、より窒素要求量の少ない作物品種を開発し、窒素投入量を減らすことで亜酸化窒素の放出量を抑えることが考えられるが、このような品種を選抜するためには、作物を含めた生態系からの温室効果ガス放出量を効率的に測定する技術が必要不可欠となる。そこで本期は、特に水田生態系における温室効果ガス測定方法を確立することを目的として研究を行った。

本期においては、技術移転を行う観点から、受け入れ機関である国際熱帯農業センターの職員 1 名および学生 1 名、また周辺の研究機関である、コロンビアサトウキビ研究センターの職員 2 名、Fedearroz 米連盟の職員 1 名、バジェ・デル・カウカ県立大学の教員 1 名および学生 1 名の参加を募り、共同で研究を遂行した。本研究においてはコロンビアの水田における温室効果ガス発生量の測定について方法を確立し、測定用機材を作成した。そして温室効果ガスの分析装置の精度管理について提言をした。また実際に水田からの温室効果ガス発生量を複数回測定し、様々な要因(温度、窒素投入量、品種など)がそれに与える影響を調べた。この具体的な測定例の蓄積については本期終了後も引き続き現地スタッフが行っている。加えて、土壌中の無機栄養塩(硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、アンモニウム態窒素)の現地で行うことが出来る簡易的な測定法を確立した。本研究で確立した全ての測定法については英語で文書化し、コロンビア国内研究機関に配布した。また、国際熱帯農業センター (International Center for Tropical Agriculture (CIAT)) およびバジェ・デル・カウカ県立大学においてセミナーを開催し、技術の普及を図った。



水田での測定の様子



スタッフへ指導の様子

案件名	窒素利用効率の高度化による農業生産由来の温室効果ガスの削減
派遣専門家	浦野豊
所属機関	東京大学 大学院 農学生命科学研究科・研究員
相手国研究機関	国際熱帯農業センター (International Center for Tropical Agriculture)

窒素利用効率の高度化による農業生産由来の温室効果ガスの削減

(平成 23 年 6 月 ～ 24 年 2 月)

<派遣の背景>

農業活動によって引き起こされる環境問題が世界中で指摘されるようになって久しいが、中でも過剰施肥による環境汚染や温室効果ガスである亜酸化窒素(一酸化二窒素: N_2O)の発生が問題視されている。世界で放出している温室効果ガスのうち 13%が農業活動に起因しそのうち 62%が亜酸化窒素によるものであり、亜酸化窒素は二酸化炭素の 310 倍強い温室効果がある気体なので、その放出抑制は急務とされている。

生産性を向上させるために世界の農地には年間約 9 千万トンもの窒素肥料が投入されており、このうち 50～70%が農作物に利用されずに環境に放出されているという試算がある。土壌中に残留した窒素肥料は周辺水系の汚染や土壌劣化などの問題を引き起こすと同時に、亜酸化窒素として環境に放出されている。穀物生産分野だけでも過剰施肥による経済損失は全世界で年間約 170 億米ドルもある。日本も含み農家は不作を恐れ一定の収量を確保するため過剰施肥を行いがちであるが、施肥は本来農作物の各生育段階における要求に応じて行うのが理想である。しかし、生育途中の施肥要求量の把握は簡単ではないため、結果的に過剰施肥に頼りがちとなる。殊に最近ではバイオマスエネルギー用作物の栽培生産が各国で増大しつつあるので、適切な施肥管理はエネルギーの生産効率向上の観点からも非常に重要なことである。

現在、農作物の施肥利用効率を向上させる品種改良に取り組んでいる研究所が世界中に多くあり、私が派遣された国際熱帯農業センター(International Center for Tropical Agriculture(CIAT))もそのひとつで、Eco-Efficient Agriculture という観点で多数の改良品種から窒素利用効率に優れた普及品種を選抜する研究を行っている。従来の方法で各生育段階における農作物の窒素要求量や窒素利用効率を知るためには、実際に個々の植物体を採取して成分分析を行う必要があり、その作業量は甚大であった。そこで、育成中の農作物を遠隔から広範囲に画像計測することにより、その農作物の各生育段階での形質をリアルタイムにモニタリングし品種選抜に生かす技術が求められた。

この要求に応えるため、このたび私が遠隔画像計測(リモートセンシング)の専門家として CIAT に派遣された。CIAT に移転する画像計測技術の原理を簡単に述べると、近赤外線を含むマルチバンド計測機器を用い遠隔から広範囲に生育中の農作物を画像計測し、得られたデータを解析することにより窒素利用効率に優れた品種を横断的に効率よく診断することである。今回移転する画像計測技術は今後コロンビア国内やその周辺の熱帯地域のみならず世界各国の農業形態や農作物に適応できる発展性を兼ね備えている。なお、当研究は東京大学大学院農学生命科学研究科の生物・環境情報工学研究室との共同研究であり、私の派遣終了後も CIAT と共同研究を継続していく予定である。

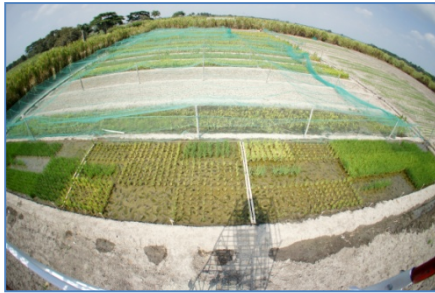


CIAT 視察中の研究者に研究内容を説明する

<技術移転と研究の概要>

88×44mの実験圃場を見下ろせる高さ約 8mの観測塔を合計 3 棟建設し、塔上に設置した観測機器を用いてイネの各生育段階における形質の状態や変化をモニタリングする。計測されたデータから窒素利用効率に相関があるクロロフィル含有量などの植物形質パラメーターを品種毎に横断的に評価し、品種選抜に生かすことが目的である。遠隔計測(リモ-

トセンシング)によるこの手法では、広範囲に栽培された農作物を横断的にリアルタイムにモニタリングすることができ、農作物の各生育段階における施肥要求量や栄養状態なども精度高く診断することが可能となるので、今後農業活動で求められる高度な栽培コントロールにも応用できるなど、非常に発展性が高い研究に位置づけられる。



観測塔から圃場を見下ろした風景



観測塔に仮設置した観測機材



観測塔2棟完成時

＜赴任から現在までの作業概要＞

- ・ 2011 年 6 月下旬赴任～9 月
圃場現場の状態把握、観測塔建設設計、業者選定、観測機材選定、予算設定など、全体のシステム設計を開始し、必要な機材や観測塔工事(基礎、本体)を発注。観測塔工事着工。現地専任者へ技術移転と研究内容の定期講義。
- ・ 2011 年 10～12 月
観測塔第1棟目完成。東大とのデータ共有オンラインシステムの設計を CIAT IT チームと開始。観測機材ほぼ揃う。画像処理用専用コンピューターおよびソフトウェアの選定および発注。観測塔第2棟目発注。現地専任者へ観測手法の定期講義。(健康休暇約 20 日)
- ・ 2012 年 1～2 月
画像処理用専用コンピューター設置、ソフトウェア一部入手。観測塔第2棟目完成。データ共有オンラインシステムの発注(完成まで 3 ヶ月間を予定)。現場電源供給設計。試験圃場に 5 品種のイネを栽培し試験観測を開始。

＜今後 2012 年 3 月～2013 年 1 月下旬までの予定＞

これまでは観測塔の設置や観測機器システムの構築など、主にハードウェアの準備に時間を費やしていたが、今後は専任者に観測技術や基礎的な画像処理技術の教授などソフト面での活動に力を入れていく予定である。現在、現地圃場と東京大学の研究室とを結ぶオンラインシステムとデータ共有システムの構築を発注したばかりであり、今後はそのシステムの構築作業を監修し、運用テスト等を行い、赴任期間中に完全移行できるような計画を行っている。

＜所感＞

日本では簡単に入手出来るものでもコロンビアでは想像以上の期間を要した。特に輸入品はカスタムなどで理由不明瞭のまま数ヶ月間保留され受け取れなかったりした。またコロンビアには独自の時間感覚があるので、CIAT 内外にかかわらず、他者とのアポイントメントや見積もり依頼等の作業は予定よりもかなり延期されることが多い。限られた期間内で計画を全うするためにはできる限り早めに依頼を行い、進捗を定期的に相手に確認することが必須である。8 ヶ月の短い期間ながらこれまでコロンビア人と公私共に過ごした感想としては、コロンビア人は総じて陽気で人なつこくすぐに友達になれる人柄であり特にプライベートの時間を一緒に楽しむにはとても楽しい民族である。しかし仕事や遊びにかかわらず時間や約束事に対する責任感は日本人よりも希薄なので、相手の機嫌を損ねない範囲でこちらより定期的に相手に確認を行い相手の自覚を促すことが必要である。その作業自体も自分自身の仕事範囲に含まれると観念し、コロンビアで仕事を進める限りお互い機嫌良く効率よく仕事やプライベート時間を過ごすことが肝要であると感じている。



画像計測研究の重要性について講義

案件名	窒素利用効率の高度化による農業生産由来の温室効果ガスの削減
派遣専門家	浦野豊
所属機関	東京大学 大学院 農学生命科学研究科・研究員
相手国研究機関	国際熱帯農業センター (International Center for Tropical Agriculture)

窒素利用効率の高度化による農業生産由来の温室効果ガスの削減

(平成 24 年 3 月 ～ 7 月)

＜前回報告以降の活動概要＞

コロンビア・カリの国際熱帯農業センター (International Center for Tropical Agriculture (CIAT)) に赴任して 6 月末でちょうど 1 年が過ぎ、予定任期のほぼ 3 分の 2 が経過した。予定通り進捗しないことが多く完全にシステムができあがったわけではないが、残り約 7 ヶ月の赴任期間中に残件を解決し、システムを完成させ、技術移転の任務を完了させる予定である。なお、私の任期以降も CIAT と東京大学間で共同研究を続けていく予定なので、私が CIAT から離れた後も現地の専任者が研究活動を確実に行っていけるよう、観測技術、データの基本的な加工処理技術および共同研究者同士のデータ共有システムの運用技術について引き続き専任者へ指導していく予定である。

＜プロジェクトの各部門の進捗状況は以下の通り＞

1. 観測塔

観測塔は予定通り 3 棟すべてが完成しており、第 1 棟に設置したワイヤレスウェブカメラシステムの稼働テストも無事完了した。今後さらに第 2 棟、第 3 棟にもワイヤレスウェブカメラを設置する予定であるが、カメラの入手にかなり時間がかかるため、観測塔 3 棟すべてのワイヤレスウェブカメラシステムが完成するまでにはさらに 2～3 ヶ月必要である。

農場無人時に身柄不明人物が観測塔エリアに入っていたとの報告があり、現場に設置中の機材が盗難または破壊される恐れがあることを指摘された。そのため、セキュリティの強化のための予算を確保し、盗難防止用ケージおよびロックの設置工事を行った。研究所内はコロンビア国内一般の場所よりもセキュリティ対策がなされているので比較的安全性が高いが、それでも稀に盗難などの事件が発生しているため、損害を未然に防ぎ防衛する手段をある程度構築しておく必要がある。



ワークショップ・観測塔紹介



ワークショップ・観測デモンストレーション



ワークショップ・観測デモンストレーション

2. 画像データ

今回のプロジェクトの基礎データとなる画像データは、誰にでも比較的簡単に取得できるシステムであるが、一眼レフカメラを扱ったことのない人にはある程度の慣れが必要である。これまで専任者が取得したデータは当人の試行期間でもあったためすべてのデータが良好に使えるというわけではないが、並行して行っていた温室での生育実験で取得したデータが比較的良好な状態であったので、まずはそのデータの試行解析を始めようとしている。

屋外実験圃場のイネのデータも約 4 ヶ月間にわたり取得していたが、圃場のイネが生育途中で枯れたなど状況が芳しくなく、またデータ取得タイミングが良好でなかったため、残念ながら解析に使えるようなデータは得られなかった。これまでの期間は専任者の試行期間ということであきらめ、今後は習得した技術で失敗なく品質の良いデータがとれるものと期待している。

7 月下旬からは屋外実験圃場全域(約 40×80m)に植えたイネを観測塔 3 棟すべてから観測を始める予定であり、現在その最終調整を行っている。

3. ワイヤレスウェブカメラシステム

6 月中旬に第 1 棟のワイヤレスウェブカメラシステムが完成し、CIAT 内外からのテスト結果も良好で、共同研究を行っている東京大学の研究室からのアクセステストも問題なく完了した。24 時間稼働のワイヤレスウェブカメラシステムを設置することにより、権限を与えられた利用者はインターネットのブラウザを利用して、世界中のどこからでもリアルタイムにコロンビアの実験圃場の様子を見ることができる。この画像は上で述べた解析用の画像データとは目的が異なり、あくまでもディスプレイを通じて肉眼で実験圃場の現在の様子をリアルタイムに観察することが目的である。たとえば東京大学の研究室からコロンビアの実験圃場の様子を見て圃場の実験区画作成に関して意見を出したり、また、生育途中のイネの状態や、風雨、日照などの気象状態をリアルタイムに観察したりすることができる。ウェブカメラからのリアルタイム可視情報には現地の人たちからの実験圃場の状況に関する定期的な写真や文章などでの報告からでは把握しきれない情報も盛り込まれるので、その設置利用意義は大きい。

4. オンラインデータ共有システム

CIAT でのオンラインサーバー設置作業が遅れていたためまだ運用はしていないが、遅くとも 7 月中には稼働が始まる予定で、稼働後には東京大学を含む共同研究者同士が各種データを CIAT とリアルタイムに共有できることになる。画像データには細密情報が書き込まれているため 1 枚の画像だけでも巨大であり、その画像もデータ採取期間に応じた数千枚、数万枚あるいはそれ以上に及ぶ。現在は大容量ハードディスクドライブを複数個用意してバックアップを取りデータの保護と保管を行う体制を整えている。

5. ワークショップ

これまでの本案件活動状況の中間報告とプロジェクト内容および目的をコロンビア国内関係者に周知する目的で、6 月 29 日に CIAT にてワークショップを開催し、総勢 23 名が参集した。参加者はコロンビア国立大学およびカリのサウキビ研究機関(セネカニャ)の研究者、さらに CIAT 内の関係研究者であった。当日は、リモートセンシングの最新技術を利用した観測手法とそのシステム構築と運用についての講義を行い、また、実験圃場では専任者による観測塔からのデータ取得のデモンストレーションを行った。

セネカニャでもマルチスペクトルセンサーを用いた近距離リモートセンシング技術を利用しているとのことで、ワークショップでは皆積極的に鋭い質問が飛び交い時間が足りないほど白熱し非常に有意義な半日を共有できた。

今後セネカニャからも研究紹介をしたいという提案があり、私の赴任期間中今後 2~3 ヶ月内にセネカニャでワークショップが開催される予定である。また、12 月には本案件の最終報告を兼ねて、再度ワークショップを CIAT にて開催する予定である。

このようなワークショップは本案件の大きな目的であるコロンビア国への日本からの科学技術移転を達成させるために非常に重要な位置づけなので、コロンビア国内研究機関の関係者とは今後も良好で有意義な関係を持続していく所存である。



ワークショップ・プロジェクトの紹介講義



ワークショップ講義中の著者



コロンビア国内の研究者たちが集まった

＜所感＞

これまで 1 年間、特に病気もせず大きく体調を崩したこともなく、恐喝などの事件にも遭遇していないのが何より幸いである。標高が 1,000m のカリは赤道に近い熱帯にもかかわらず朝夕は涼しく比較的過ごしやすい。明るく晴れやかな青空の下で仕事を続けるのは気分の良いものではあるが、一方、長くて不自由な軟禁生活を余儀なくされているという印象も強い。ここは世界に名だたる犯罪率の高いコロンビアであり、さらに国内でも犯罪件数がトップクラスのカリである。周辺からは依然として事件や事故のニュースを絶え間なく耳にしており、これまでどおり毎日気を引きしめて行動圏を非常に狭めて自衛しているのが現状である。自由ではない生活が続けているため恒常的にストレスが溜まっていると自覚することがあり、定期的にコロンビアを離れ緊張を解く時間が必要である。残り 7 ヶ月ほどの期間を無事問題なく過ごすためにも労務規定に定められた海外滞在日数を利用して 9 月と 11 月に短期間コロンビアを離れる予定である。今後も心身共に無事過ごし、任務を全うできるよう願っている。

案件名	窒素利用効率の高度化による農業生産由来の温室効果ガスの削減
派遣専門家	浦野豊
所属機関	東京大学 大学院 農学生命科学研究科・研究員
相手国研究機関	国際熱帯農業センター (International Center for Tropical Agriculture)

窒素利用効率の高度化による農業生産由来の温室効果ガスの削減

(専門家任期中の総括:平成 23 年 6 月 ～ 25 年 1 月)

1. これまでの問題点と技術移転の目的

作物の生産においては、投入した肥料コストと生産高についての効率が主に議論される。稲作についてコロンビアとアメリカのヘクタール当たりの肥料投入コストを比較するとそれぞれ 2,359USD、2,153USD であり、収量1トンあたりの肥料投入コストはそれぞれ 444.0USD、265.6USD である。コロンビアが肥料を輸入に頼っていることも理由としてあげられるが、コロンビアがアメリカより多くの費用をかけ、稲作生産効率が低いことがわかる (FEDEARROZ, 2010)。この問題を解決する一つの方法がイネの品種改良による窒素利用効率の向上であり、世界中のいくつかの研究所ではすでに多くの品種の NUE (Nitrogen Use Efficiency:窒素利用効率) の高いイネの作成が試みられている。

NUE の高いイネを普及させるためには、新しい品種を実際に育成してそれぞれ NUE を科学的に求める必要があり、CIAT の Biotechnology 研究室ではその選別法について研究を進めている。

作物の NUE を正確に知るためには作物葉内のクロロフィル量(窒素量)の定量が必要で、これまでの方法では農場で育成中のイネ個体への接触計測や刈り取りによる実験室内での破壊計測が必要であった。その作業量は膨大で多大な時間と費用がかかるため、これまでの研究効率はあまり芳しいものではなかった。

そこで本プロジェクトでは、栽培中の作物の NUE 計測を効率良く行えるリモートセンシングシステムの導入と技術指導を行った。リモートセンシングシステムによる計測では、広い範囲に生育している多品種の作物を遠隔から比較的短時間に同時計測できる利点がある。今後、従来の手法からリモートセンシングシステムによる手法に置き換えることにより、多品種の NUE 解析を効率よく行え、また成果の信頼性の向上も見込まれる。

2. プロジェクトの進捗と成果(表1)

東西 88m南北 44mの実験農場を遠隔から俯瞰計測するための高さ約 9mの観測塔(写真1)3 棟を建設し、計測用 4 バンドカメラ(写真 2)等、必要な計測機器を準備した。システムの構築後、国際熱帯農業センター (International Center for Tropical Agriculture (CIAT)) 側担当者に計測技術を指導し、最終的には画像データを指導なしで単独で取得する技術を身につけてもらった。



写真1 観測塔とその設置機材



写真2 計測用4バンドカメラ

しかしながらその進捗において、計測機器の輸入や税関通過に想像以上の時間がかかったり、注文した機材が異なるもので納品され返品再注文せざるをえなくなったり、計測機器の不良品の交換、故障、破損、担当者への入れ替わりなどにより当初予定していたスケジュールが大幅に遅れた。本来のスケジュールでは、任期中の 3 分の 1 の時点でシステ

弱体の私ひとりでは到底全うすることのできない大きな予算と時間をかけた大役でしたが、心身無事でプロジェクトの当初目標には達することができたかと思います。広いようで狭い世界ですので、またどこかでみなさまと仕事をご一緒させていただく機会もあるかと思います。その時はまたよろしくお願いいたします。



写真 3 CIAT 研究者と学生および関係者たち(中間ワークショップ 2012/6/29)