

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26850035

研究課題名(和文)地球温暖化が水田土壌の地力窒素に与える長期的影響とそのメカニズムの解明

研究課題名(英文)Effects of elevated temperature on a paddy soil N fertility

## 研究代表者

八島 未和(松島未和)(Yashima, Miwa)

千葉大学・大学院園芸学研究科・講師

研究者番号：60527927

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：地球温暖化を模倣した原位置加温、高CO<sub>2</sub>処理、窒素無施用処理を6年行った実験水田圃場の土壌を調査した結果、統計的に有意な地力窒素の減少は見られなかった。一方、易分解性の土壌炭素は、高CO<sub>2</sub>処理が継続すると減少すると判明した。これは、大気CO<sub>2</sub>濃度の上昇が土壌炭素の蓄積に対して、負の影響を及ぼすことを示唆していると考えられた。また、圃場の有機物管理は、土壌炭素や窒素無機化に対し大気CO<sub>2</sub>濃度や窒素肥料などよりも大きな影響を持つことが示唆された。地球温暖化に伴う地温の上昇は地力窒素発現量を増加するが、その量は従来の反応速度論や有効積算温度に基づく式により、十分な精度で予測可能なことが分かった。

研究成果の概要(英文)：We tested the effects of in situ soil temperature elevation, elevated air CO<sub>2</sub> concentration, and no N fertilization for 6 years on paddy soil fertility. The results showed that there was no statistically significant fertility decrease. On the other hand, easily decomposed soil C decreased only in CO<sub>2</sub> elevated treatment after a few years of treatment. This result may indicate that elevated air CO<sub>2</sub> concentration decreases soil C stock in a long term. The management practice of organic matter such as rice straw has much more impact than CO<sub>2</sub> concentration and N fertilization do. Global warming leads soil temperature raise. And soil N mineralization increases. Our study showed that 1st order kinetics and effective temperature theory can estimate the amount of soil N mineralization and N supply for plants under a global warming environment as well.

研究分野：土壌肥料学

キーワード：窒素無機化 水田土壌 地球温暖化 高濃度二酸化炭素環境 土壌炭素 土壌窒素

## 1. 研究開始当初の背景

『ムギは肥料でとり、コメは土でとる』という言葉が象徴するように、水稻が吸収する窒素のうち約4割のみが肥料窒素由来、残りの大部分が地力窒素由来である。また、環境面への配慮などから、国内水田における単位面積当たりの窒素施肥量は近年減少傾向である。よって、将来に渡る安定的なコメの生産にとって、地力窒素の維持管理は必要不可欠である。ここで、地力窒素の発現とは、土壤有機物に含まれる有機態窒素の一部が微生物による分解に伴いアンモニア態窒素に変化すること、すなわち窒素無機化(以下無機化)を指す。無機化量は、栽培期間中の水稻の窒素吸収量と非常によく相関することが分かっている。

地力窒素の給源は土壤に蓄積した有機物である。耕作期間中の水田土壤は湛水されているので、酸素供給が限られており、その結果、土壤有機物の分解は抑制され蓄積されやすい。ゆっくりと時間をかけて蓄積してきた土壤有機物が水田の豊かな生産力を支えていると言える。一方、分解の速度を速めるような水田管理を行うと、一時的には無機化量が増加するが、長期的に地力を消耗させ、結果的に土壤肥沃度を低下させることとなる。

高温は無機化の速度を上昇させる。よって、気候変動に伴う昇温は無機化を増加させると推定される。申請者らは、2007-2008年に岩手県雫石町(黒ボク土)2010-2013年に茨城県つくばみらい市(灰色低地土)の実験水田圃場のそれぞれに設けた通常温度区と原位置加温区(田面水を通常温度区+2°C:50年後の平均気温の予測上昇幅)において、見かけの(Net)無機化量(栽培期間中における土壤中のアンモニア態窒素量の増加量。閉鎖系容器内でイネの影響を排して測定した。)を調査した。その結果、2°Cの加温により無機化量が12~28%増加した。この増加量は、1シーズンあたり最大で36kg N ha<sup>-1</sup>に相当する。千葉県の水稲施肥基準がおおむね70~90kg N ha<sup>-1</sup>であることを考慮すると、この増加量は施肥設計上でも決して無視できない。

しかし、加温による無機化量の増加は土壤有機物を消耗させ、地力を次第に低下させるため、長期的には継続しないと考えられる。つまり、温暖化により短期的な無機化量は増加するが長期的には地力窒素の給源は貯金を崩すように減少していく、という仮説が立てられる。短期的な昇温が無機化量に与える影響については室内培養試験等を中心として多くが解明されてきた一方で、昇温が無機化窒素の給源である有機物や微生物が介する窒素動態に及ぼす長期的影響については解明が進んでいない。栽培期間中の無機化量は、環境からイネへ供給される窒素量の大部分を占めるため、その予測は適正な窒素施肥

量を導く為に必要である。例えば、無機化量を過小評価し過剰な施肥を行うと、窒素過剰による倒伏やタンパク含量増加によるコメ食味の低下をもたらし、稲作経営に直接的なダメージをもたらすためである。現在、無機化予測モデルは主として速度論的解析と有効積算温度に基づく2種類が提案されている<sup>3)</sup>が、温暖化環境下におけるこれらのモデルの検証はまだ行われておらず、温暖化が進行している現在、モデル検証と精緻化が早急に求められている。

## 2. 研究の目的

以上の背景から、本研究は、温暖化が水田土壤の地力窒素に与える長期的影響とそのメカニズムの解明を目的として、2つのモジュールに分けて連動的に遂行するものとした。

モジュール1: 原位置加温を5年以上経験した土壤の調査により、温暖化により短期的な無機化量は増加するが長期的には地力窒素プールは減少していく、という仮説を検証。対照区として、無加温区を設置するとともに、データ処理や解釈においては平均気温の自然変動を加味する。

モジュール2: 無機化量に対する原位置加温影響に関する過去5年間のデータと、新規採取する2年間(2014-2015年)のデータを用いて、温暖化環境下における無機化予測モデル式を検証および精緻化する。

## 3. 研究の方法

### (1) つくばみらい FACE サイトにおける長期加温を受けた土壤の地力調査

独立行政法人 農業環境技術研究所(現: 農研機構 農業環境変動研究センター)が管理している農家の水田圃場に設置された大気二酸化炭素濃度増加実験(Free air CO<sub>2</sub> enrichment, FACE)において試験を行った。圃場内において、FACEサイト設立の2010年より加温処理を長期的に受けた試験区(Elevated temperature, ET区)窒素肥料を施用しなかった試験区(Zero nitrogen, 0N区)、対照区(Normal temperature, NT区)から土壤を採取し、窒素無機化のポテンシャルを調べた。窒素無機化のポテンシャルは、土壤を湛水し、嫌気処理(N<sub>2</sub>置換)を行った上、通常の28日間30℃恒温培養器で暗所培養を行った際に発生したアンモニア態窒素(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)量を持って測定した。通常培養で観察できない窒素画分を調べるため、土壤を乾燥させた乾土効果を与えた試験、アルカリ添加させた試験を行った。

さらに、FACEサイト設立時より乾燥保存してきたアーカイブ土壤(2010年-2016年)の

追加分析を行った。上記のように窒素無機化ポテンシャルを調べたうえで、発生した気体を採取し、無機化(分解)された炭素量として、CO<sub>2</sub>およびCH<sub>4</sub>量を定量した。さらに、CO<sub>2</sub>およびCH<sub>4</sub>の炭素安定同位体量を測定し、炭素の起源を探った。

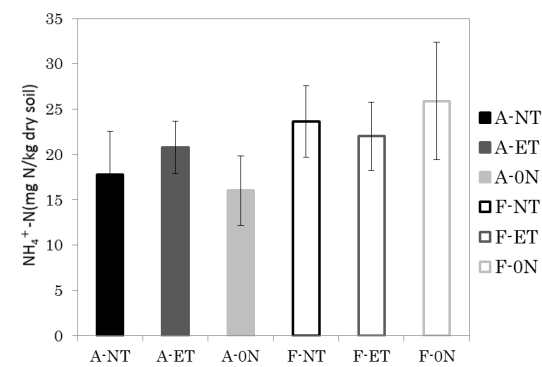
また、窒素無機化測定方法の新規開発として、培養法とイオン交換樹脂を使用したPRS (Plant root simulator) 法を比較検討した。

## (2) 室内培養試験に基づいたモデル式の複数構築と比較

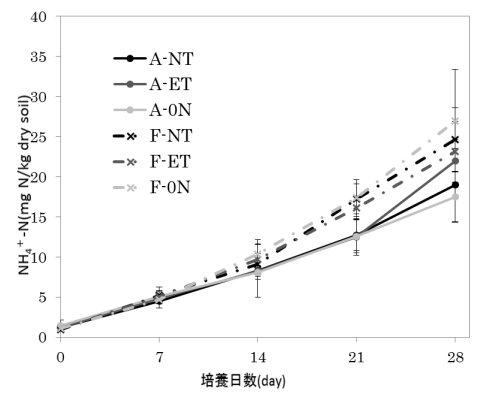
上記と同様の培養試験を室内にて温度を複数設定した環境で行い、その際発生したアンモニア態窒素を定量した。このデータを用いて、窒素無機化の予測式を策定した。この際予測式のモデルを複数試験した。反応速度論に基づくモデル(単純モデル、反応速度論に基づくモデル(湿潤風乾並行モデル)、有効積算温度モデル)である。

## 4. 研究成果

初年度(2014年)に採取した土壌(試験処理4年経過)の窒素無機化のポテンシャルについて調べた結果以下のような結果が得られた。加温または窒素肥料無施肥によって受ける影響は非常に小さく、統計的有意差は見られない。アルカリ処理、風乾処理するとポテンシャルはどの土壌においても増加する。高CO<sub>2</sub>処理した土壌(F)において高かった。(以上第1図および第2図)単年の土壌の分析では得られる結果に限りがあることから、次にアーカイブ土壌の分析を行うこととした。また、加温による影響はほとんど見られないことから、これ以降は高CO<sub>2</sub>処理および窒素肥料施肥の経年影響に注視していくこととした。

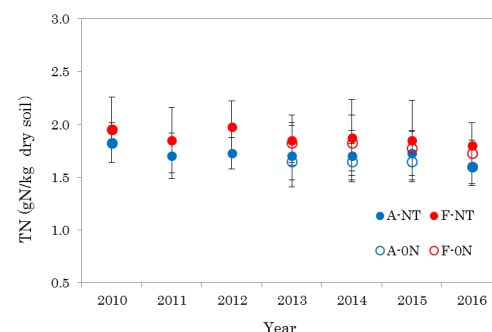


第1図 つくばみらい FACE の各試験区における可給態窒素量。A=[CO<sub>2</sub>]:約 390ppm, F=[CO<sub>2</sub>]:約 590ppm, NT=常温 8gN/ha, ET=常温+2, 8gN/ha, ON=常温, 0gN/ha, bar=SEs, n=4。

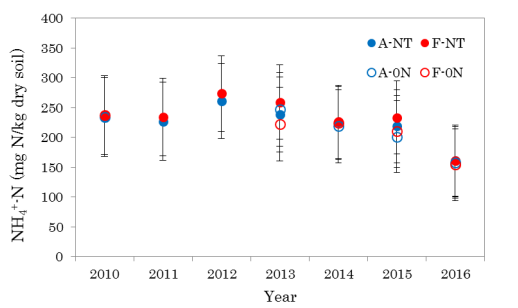


第2図 つくばみらい FACE の各試験区における可給態窒素発現量の培養中の経時変化。A=[CO<sub>2</sub>]:約 390ppm, F=[CO<sub>2</sub>]:約 590ppm, NT=常温 8gN/ha, ET=常温+2, 8gN/ha, ON=常温, 0gN/ha, bar=SEs, n=4。

つくばみらい FACE サイトにおける試験を開始する直前の2010年4月から2016年まで毎年採取し、風乾させたくて保存してきたアーカイブ土壌を分析した結果、実験開始前からFにおいて全炭素、全窒素量が高いことがわかり、統計処理には初期値を実験開始前とした共分散分析が必要であることが判明した(第3図)。アーカイブ土壌の地力窒素発現量を測定し、共分散分析を行ったところ、以下のような結果が得られた(第4図)。6年間の高CO<sub>2</sub>処理によって地力窒素はほとんど変化しない。6年間の窒素肥料施用の有無によって地力窒素はほとんど変化しない。2010年から(とくに2012年以降)2016年にかけて、経時的に全体的な地力窒素の減少がみられる。経時的な減少は、圃場の有機物管理状況とリンクしていると考えられた。当該試験地農家圃場では、2010年以前は稲わら残さの鋤き込みを行っていたが、FACE試験開始後、2014年まで鋤き込みを中止していた。よって、試験を行った期間の範囲では、大気CO<sub>2</sub>濃度、施肥、温暖化といった要因よりも、稲わらの処理等の有機物管理が地力窒素に対してより大きな影響を及ぼすことが分かった。



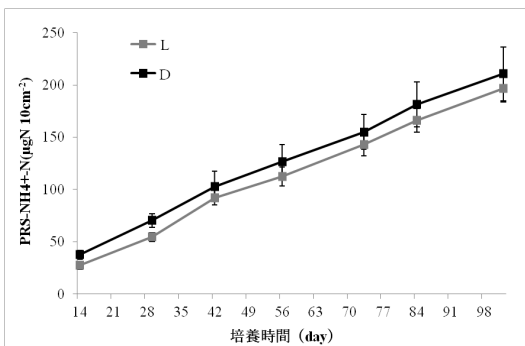
第3図 つくばみらい FACE の各試験区における土壌全窒素量。A=[CO<sub>2</sub>]:約 390ppm, F=[CO<sub>2</sub>]:約 590ppm, NT=8gN/ha, ON=0gN/ha, bar=SEs, n=4。



第4図 つくばみらいFACEの各試験区における可給態窒素量。A=[CO<sub>2</sub>]: 約 390ppm, F=[CO<sub>2</sub>]: 約 590ppm, NT=8gN/ha, ON=0gN/ha, bar=SEs, n=4。

一方、同時に測定した易分解性炭素量(可給態窒素測定のための培養中に発生したCO<sub>2</sub>とCH<sub>4</sub>を合計した値)は、継続的な高CO<sub>2</sub>処理によって対照区よりも減少することが分かった。これは高CO<sub>2</sub>が土壌炭素蓄積に対して及ぼす影響を示唆しているものと考えられた。これ以降の詳細説明のため、現在は易分解性炭素の炭素同位体の分析を行っている最中である。

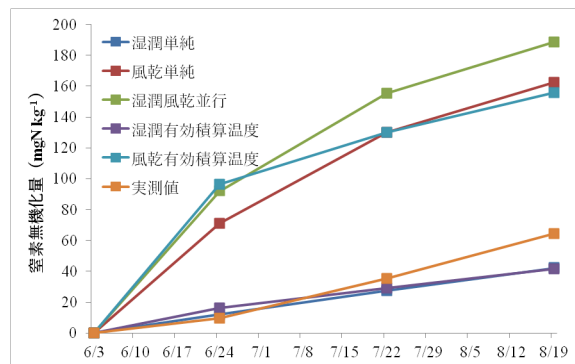
窒素無機化量(または可給態窒素)を測定するためには長期間の培養が必要であるが、とくに圃場状態で植物が利用可能な窒素量を測定するための手段として、イオン交換樹脂によるもの、今回はPlant Root Simulator (PRS)を湛水状態にて試験した。日当たりのよい場所(L)と日陰の場所(D)の2か所において湛水ポットを作成し、PRSを設置した。Lにおける土壌温度はDよりも有意に高かったため、より高い窒素無機化が期待され、従来法による窒素無機化は仮説通りの結果を示した。しかし、PRSによる結果はこれとは一致せず、第5図のようにLにおける窒素量が低いという結果になった。これはL区で窒素が窒素無機化以外の経路(例えば微生物による有機化や脱窒のような窒素ロス)に影響されていたことを示すものと考えられた。好気条件でこれまで実績があるPRSを、湛水条件で利用するには制限があることが分かった。



第5図 日当たりの良い場所(L)および日陰(D)に設置したPRSプローブに吸着され

たアンモニア態窒素量の経時蓄積的变化。

最後に、窒素無機化の予測精緻化について検討した。まずは室内培養試験を行い、各種予測式のパラメーターを算出した。その後、FACE圃場において測定した土壌温度を各種式にあてはめ、予測値を算出した。別途実際の圃場における窒素無機化量の測定も従来法によって行った。結果、第6図のように実測値、各種式による予測値が得られた。一次反応式に基づく単純モデルおよび有効積算温度によるモデルの2種類とも、実測値に近い予測値が得られた。予測の精度は、常温区、加温区において大した差はなく、今後の地球温暖化環境においても、これまでの知見を用いた窒素無機化予測は可能であると考えられた。



第6図 つくばみらいFACE圃場から採取した土壌の窒素無機化予測(5種)と実測した窒素無機化量(2015年測定)。加温区(常温+2)にて測定した結果を示したもののみ掲載。湿潤土壌の培養によって得られた予測値のうち、単純モデルおよび有効積算温度モデルによって得られたものが実測値に最も近かった。

本研究で明らかとなった点『地力に与える重要な影響要因は稲わら残さの管理である』は今後の水田管理に対して有機物管理の重要性を示唆している。水稲栽培を1作行くと、1kg土壌から100mgN以上が無機化されて水稲に供給され、同時にその10倍程度の炭素が無機化して系外へ出る。稲わらを土壌に還元しなければ比較的短期間に全炭素をはじめとした肥沃度の指標は減少を始めることになる。現在、飼料米の栽培が盛んになっている。植物全体を系外に持ち出す管理を長く行くと、長期的な土壌肥沃度を低下させることに繋がると考えられる。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 3件)

1. 小坂井宏輔、永野博彦、八島未和、和穎朗太、林健太郎、常田岳志、酒井英光、中村浩史、臼井靖浩、長谷川利拡 開放系大気 CO<sub>2</sub> 増加実験による水田土壌窒素肥沃度の経年変化 日本土壌肥料学会 2016 年佐賀大会 2016 年 9 月 20 日から 9 月 22 日 (佐賀県佐賀市)
2. 須藤翔、八島未和、永野博彦、小坂井宏輔、田場秀卓、宮入大宗 2015 水田土壌の無機態窒素測定法の従来法と簡易測定法の比較および検討 日本土壌肥料学会 2015 年京都大会 2015 年 9 月 9 日から 9 月 11 日 (京都府京都市)
3. Sho Sudo, Miwa Y.Matsushima, Takeshi Tokida, Kentaro Hayashi, Yuki Kawai, Nobuko Katayanagi, Shu Miura, Kazuyuki Inubushi and Toshihiro Hasegawa 2014 Prediction of Soil Nitrogen Mineralization as Affected by In Situ Warming in Paddy Fields in Japan, The World Congress of Soil Science, Jeju, Korea June 8 to 13, 2014.

(3) 連携研究者 ( )

研究者番号 :

(4) 研究協力者 ( )

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者 八島 未和  
(Miwa Yashima )  
千葉大学・大学院園芸学研究科・講師  
研究者番号 : 60527927

(2) 研究分担者 ( )

研究者番号 :