

戦略的国際科学技術協力推進事業（日本－中国 研究交流）

1. 研究課題名：「杭州湾沿岸地帯に分布する年代の異なる水田（30～2,000年の栽培来歴）の土壤有機炭素プールの安定性と土壤炭素の増減に関する研究」
2. 研究期間：平成23年2月～平成26年3月
3. 支援額： 総額 2,176万円
4. 主な参加研究者名：

日本側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	安藤 豊	山形大学農学部	教授
研究者	木村 真人	名古屋大学大学院生命農学研究科	教授
研究者	和田 信一郎	九州大学大学院生物資源環境科学府大学院農学研究科	教授
研究者	渡辺 彰	名古屋大学大学院生命農学研究科	教授
研究者	角田 憲一	山形大学農学部	准教授
研究者	佐々木 由佳	山形大学農学部	助教
参加研究者 のべ 7 名			

相手側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	Jianrong Fu	浙江省農業科学院、環境・土壤肥料研究所	教授
研究者	Zhihong Cao	中国科学院土壤研究所	教授
研究者	Ping Zou	浙江省農業科学院、環境・土壤肥料研究所	研究員
研究者	Jing Ye	浙江省農業科学院、環境・土壤肥料研究所	准教授
研究者	Qiaogang Yu	浙江省農業科学院、環境・土壤肥料研究所	研究員
研究者	Lina Jiang	浙江省農業科学院、環境・土壤肥料研究所	教授
参加研究者 のべ 9 名			

5. 研究・交流の目的

温暖化現象の進展に伴い、地球規模での実現可能な炭素削減方法の模索が研究課題として重要性を増してきている。土壤有機態炭素（SOC）は、地球上のもっとも大きな炭素の貯留場所（シンク）の一つであると同時に炭素の循環（ターンオーバー）の早いシンクである。これまでの、短期の研究室での温度と炭酸ガス濃度を変えた培養実験では、長期にわたるSOCのターンオーバーは不明確と言わざるを得ない。このような中で、一般的にはSOCが減少しているにもかかわらず、中国全土にわたる土壤調査の結果や多くの試験成績は、水田土壌でのSOCの増加傾向を示している。

イネの栽培の起源は中国であり、最低7,000年までさかのぼる。湛水と排水の繰り返しや大量の植物残渣の投入により、水田土壌は畑土壌と比較して物理、化学、生物的特徴が大きく異なる。このような水田土壌の特異的な特徴は長期間の水稻栽培によってもたらされるものと考えられる。しかしながら、長い年月による水稻栽培によって水田土壌の特徴や畑土壌との違いが形成される過程は明かではない。

浙江省の杭州湾の南側沿いには30年から2,000年にわたる水稻栽培の歴史を持つ水田土

壤が分布している。これらの水田土壌の母材は同一とされ、輪作体系等が同じで、栽培年数が 30 から 2,000 年と異なっているだけである（以下「年代が異なる水田」とする。本研究では、世界に例を見ない年代の異なる水田を利用することによって、SOC のプールの変化、土壌有機物の安定性のメカニズム、土壌有機物の変化の原因、そして最終的には炭酸ガスのシンク能を高める栽培方法、結果として増加する炭酸ガスの削減に役立てようとするものである。本研究は

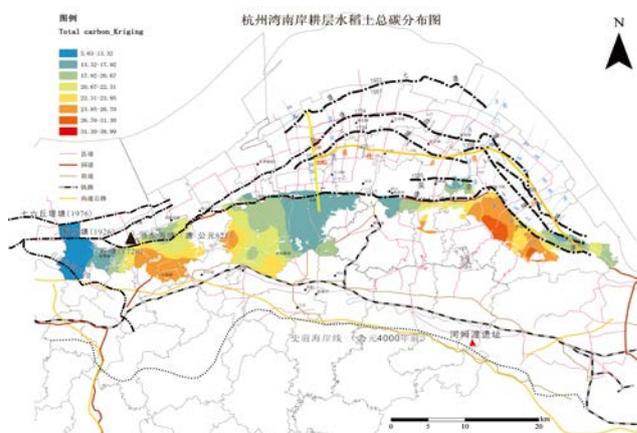
- ①沿岸地帯に分布する年代の異なる水田（30～2,000 年の栽培履歴の違い）を利用して、土壌有機物の組成と性質を明らかにし、稲作の履歴との関係を検討する。
- ②年代の異なる水田・畑土壌の ^{15}N と ^{13}C の自然存在比のデータベースを作成する。その上で土壌有機物の起源を検討する。
- ③土壌生成、生物そして最新の分析技術を利用して土壌有機物のターンオーバーの主要因を明らかにし、SOC プールのターンオーバーを検討する。
- ④栽培技術、特に施肥技術が SOC プールの変化に与える影響を明らかにする。また、高収量条件下での炭素の固定のメカニズムを明らかにし、沿岸水田土壌での持続性と有機炭素の集積を増加させる栽培技術を確立する。

6. 研究・交流の成果

6-1 研究の成果

- ・水田利用年数が土壌の理化学的特徴と炭素貯留に与える影響

①ArcGIS による分布図より、窒素含量 (T-N)、土壌の有機炭素含量 (T-C) は山側地域で高く、海側地域で低く、東側地域で高い傾向を示した。炭素自然存在比 ($\delta^{13}\text{C}$, 写真参照)、Ca、pH は、山側地域で低く、海側地域で高い傾向を示した。② $\delta^{13}\text{C}$ の減少に伴い T-C が増加した。水稻栽培の期間が長いと T-C が増加し、 $\delta^{13}\text{C}$ は栽培作物ないし投入有機物資材の影響を受けることから、 $\delta^{13}\text{C}$ は水田利用年数の影響を受けていると考えられた。③地形、堤防作成年度から、明らかに水田利用年数が同程度（約 1,000 年以上）と考えられる地域の土壌理化学性の特徴を主成分分析により検討した結果、利用年数が同程度の水田土壌は T-N、T-C、粘土含有率によって特徴づけられることが明らかとなった。この主成分得点を用いたクラスター分析によりこの地域を 2 つに分けたところ、山に近い地域と平野部に分かれた。各地域の T-N、T-C、粘土含率の間に有意な差が認められたことから、地形による影響を受けている可能性が考えられた。また、粘土含有率の高い土壌の CEC が低くなったことから、母材の違いによる影響を受けている可能性が考えられた。



- ・母材が異なる水田（対象地域の東側地区と西側地区）で利用年数の異なる圃場の詳細調査による炭素貯留の実態

水田利用年数無し(河床堆積物)では東側の T-C、T-N は西側より高い値を示し、SOC の $\delta^{13}\text{C}$ は両地域同じであった。作土層を除くと 5 年程度の水田栽培履歴では断面内では河床と理化学性に変わりがない。この結果は対象地域の東と西では母材が異なり、東は主に長江、西は主に銭塘江の影響を受けている可能性を示唆している。一方、利用年数が増加すると、作土と作土直下の層(40cm まで)では 300~1,000 年にかけて T-N、SOC は増加する。この結果は同一栽培条件では、水田の炭素貯留が一定の値になるのに、300~1,000 年要することを示している。全ての試料をこみにしてみると SOC の $\delta^{13}\text{C}$ の値と T-N、T-C の間に負の直線関係が見られ、この地域では C3 植物(稲)が土壤有機物の蓄積に重要な役割を果たしたものと考えられる。

・年代の異なる水田土壌での安定な土壤有機物の集積(稲作の履歴と土壤有機物の集積)

土壌の silt/clay 部分の腐植酸(安定な土壤有機物)の腐植化度を検討したところ、年代が古くなるに従って T-C や腐植の C が増加し、水田として利用されて 100 年は腐植化度が進行するがその後は変化が認められなかった。 $\delta^{15}\text{N}$ は利用年数が増加すると増加するが、これは微生物による窒素固定か化学肥料の利用によるものと考えられた。なお、腐植の ^{14}C 年代は利用年数と負の関係があり、水田として利用された場合、古い年代の土壌でも土壤有機物の大部分が最近固定された炭素に由来していることを示し、炭素のターンオーバーが比較的早いことを示している。

・栽培技術と SOC

窒素施用量を変えた圃場試験の結果、窒素レベルが $210\text{kg}\text{ha}^{-1}$ までは収量が増加した。数学的な解析によると最適窒素施用量は $241\text{kg}\text{ha}^{-1}$ であることが判明した。有機物の施用は土壤有機物(SOM)の増加をもたらすことが明らかであったが、化学肥料 $150\text{kg}\text{ha}^{-1}$ + 有機物 $3\text{t}\text{ha}^{-1}$ が SOM を増加させながら水稻の収量レベルを維持するのに最適な栽培方法と考えられる。さらに、有機物の種類と SOM の関係を見ると、緑肥または $1/2$ 緑肥 + $1/2$ 稲わら区が SOM の増加に寄与するものと考えられた。

1,000 年以上の栽培履歴を持つ地帯でのアンケート調査の結果アンケートは以下の通りである。①傾向として、東側の SOM 量が高い地域の農家は early & late rice (1 年 2 作の稲作)で、対象地域中央部の SOM の低いエリアでは single rice と oilseed rape か wheat の作付け体系をとる傾向が認められた。対象地域西側で SOM が中~高のエリアでは early & late rice であった。②籾収量水準は $6.7\sim 9\text{t}\text{ha}^{-1}$ 程度で、明確な地域性は認められなかった。このことは稲わら生産量がどの地域でもほぼ同じであることを示している。③残渣の管理は SOM との明確な関連は認められなかった。中国ではイネワラ処理は 1) 全量をすき込む、2) 30%を燃やして、残りをすき込む、3) 全量燃やすの 3 種類あるが、対象地域ではほとんどが全量すき込みであった。アンケート結果から、作付け体系(湛水期間の長さ、1 年 2 作の稲作)が土壤有機物蓄積に関係している可能性が考えられる。

Biochar は土壌中で安定に存在し、biochar の施用は、稲の収量を変えることなく、土壌の炭素貯留に大きな貢献を示すことが明らかとなった。また、biochar の原材料(工業生産に向けて)の検討を行ってきている。くわえて、biochar の水田への施用が温室効果ガス(メタン)の発生量の減少に有効であることが明らかとなった。

・モデルによる有機物施用量と SOM 量の関係

有機物連用 11 年目の圃場を利用し有機物施用量と SOM 量の間を H. Jenny のモデルを利用して検討した。その結果、浙江省 Jiaxing (気温が低い)地帯では、 $45\text{t}\text{ha}^{-1}$ の豚糞施用まで SOM が増加し、SOM は 47.6gkg^{-1} となった。一方、浙江省 Quzhou (相対的に暖かい)でも豚糞施用量は同一 ($45\text{t}\text{ha}^{-1}$) で最大の SOM となったが、SOM は 42.6gkg^{-1} と低い値となった。気温の影響と土壌母材の影響の両者が影響しているものと考えられるが、今後の検討が必要である。

6-2 人的交流の成果

・人材育成

日本側では本研究によって学士の学位取得者が1名、修士の学位取得者が2名であり、中国側では修士の学位取得者が3名輩出した。

・若手研究者の育成

日本側のプロジェクト参加の若手研究者の中国訪問は延べ55日となり、現場の土壌調査、試料採取および、中国側の機器を使用しての分析を行ってきた。また、現地でのアンケート調査を通して、現場の農家の調査方法を身につけたものと考えられる。一方、中国側の若手研究者はワークショップ、試料の分析のために延べ78日来日した（本プロジェクトの共同研究者以外を含む）。特に、中国側は日本の共同研究の相手先である、九州大学、名古屋大学および山形大学全てを訪問し、日常的な研究実施状況などを見学し、日本の方法を学んでいった。

・中国側の市町村レベルの普及員・研究員の人材育成

本研究では現地圃場で試料を採取し、現地農家のアンケート調査を実施した。その際に市町村レベルの普及員・研究員が同行し、我々と調査を行った。また、同行中、随時試験研究について議論を行った。最終年に中国で実施したワークショップ(写真参照)には現地調査等で関係した中国側の普及員・研究員が全員参加し、研究の流れと結果の導き方等について発表者から聞くことによって普及員・研究員の資質の向上を図った。



7. 主な論文発表・特許等（5件以内）

相手側との共著論文については、その旨を備考欄にご記載ください。

論文 or 特許	・論文の場合： 著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 ・特許の場合： 知的財産権の種類、発明等の名称、出願国、出願日、出願番号、出願人、発明者等	備考
論文	中原誌公・Zou P・安藤 豊・Fu J・Cao Z・渡邊 彰：長期水田利用下で蓄積した土壌有機炭素の安定性. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, 25, 62-68. 2014	