

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 27 日現在

機関番号：11101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26850149

研究課題名(和文)積雪地域の樹園地における秋肥は土壌環境に対して負のインパクトを与えるのか？

研究課題名(英文)Fall-fertilizing in the snow-covered region orchard is what gives a negative impact on the soil environment?

研究代表者

遠藤 明 (ENDO, AKIRA)

弘前大学・農学生命科学部・准教授

研究者番号：70450278

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は果樹の生育面と土壌の環境面の双方から推奨することができる施肥体系や土壌管理技術を確立することにある。はじめに、青森県内の中粗粒灰色低地土のリンゴ園で土壌調査を行った。次に、数値解析を行うために採取試料の理化学性試験を実施した。最後に、リンゴ園の深度10、50、100cmに土壌センサーを埋設し、体積含水率、電気伝導率および地温を1年8ヶ月にわたりモニタリングした。数値解析の結果、リンゴの収量と品質を継続的に維持できるのであれば、施肥基準に定められた量の窒素肥料を無理に施肥しないほうが、地下水環境基準を守ることが可能であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to establish a fertilization system and soil management techniques that can be recommended by both the growth aspects and the environmental aspects of the soil of the fruit trees. First, it was carried out soil surveys in apple orchards of coarse gray lowland soil in Aomori prefecture. It was then carried out physicochemical tests of samples taken in order to perform numerical analysis. Finally, embedded in the soil sensor in the depth 10,50,100cm of apple orchards, was monitoring the volumetric water content, the electrical conductivity and soil temperature over a period of one year and eight months. From the results of numerical analysis, if it can continue to maintain the yield and quality of apples by not fertilizing the amount of nitrogen fertilizer, which is defined in the fertilization criteria, it was suggested that it is possible to protect the groundwater environmental standards.

研究分野：農地環境工学

キーワード：リンゴ園土壌 無機態窒素 浸透流出 数値計算 モニタリング 減肥量

1. 研究開始当初の背景

近年、農耕地において、農作物の高品質・多収穫を目的に、施肥基準を超える施肥がなされてきた事例が見受けられる(農林水産省大臣官房統計部、2003)。このことは、農耕地が過剰な養分状態であることを示唆している。さらに、この農畜産由来の窒素成分が地下に浸透あるいは河川に流出する結果、地下水・河川水・閉鎖系水域の富栄養化による水質汚濁が進行している。このことを受け、全国的な施肥基準の見直し・有機農業の推進に関する法律の制定、農地・水・環境保全向上対策(現、農地・水保全管理支払交付金)が実施(農林水産省、2006; 2012)されてきた。そして、この間においても、持続可能な農業・農村の開発を推進するため、土壌物理学や環境水文学の各学術研究分野において、農耕地に投入した窒素肥料の動態、肥料成分が土壌中から河川に流出するメカニズムを解明する研究等が勢力的に行われてきた。日本の都道府県の農耕地における窒素フローの広域評価を行うため、栄養塩類の地表面収支計算システム(三島ら、2003)を用いた農耕地の余剰窒素量が算定されてきた。本手法は、農業センサス年における農耕地への窒素投入量、主産物・副産物の窒素吸収量を算出することにより、農耕地を対象とした栄養塩類の地表面収支量を算定するものである。当然ながら、窒素投入量が多く且つ、窒素吸収量が少なれば養分過多状態の農耕地になる。露地栽培作物における野菜類や果樹類の一部の耕種においては、吸収窒素量よりも非吸収窒素量の方が多いものがあります。これらの耕種の農耕地においては、環境へ排出される無機態窒素量が非常に多く、その中でも、青森県特産のリンゴは、窒素施肥量 153(kgN/ha) に対して、吸収量 68(kgN/ha)、非吸収量 85(kgN/ha)であり、施肥由来窒素の 55.6%が吸収されていないことが報告されている(西尾、2005)。青森県のリンゴの施肥については、1950年代から施肥量が急増し、1960年代には 350(kgN/ha)と最大に達した(農林水産省、2009)が、土壌の酸性化と塩基組成の不均衡が見られ、病害や生理障害が多発したことを受け、窒素施肥量は減少傾向にある(土壌環境モニタリング調査 1999-2003)。近年、農耕地における無機態窒素の浸透流出特性が、施肥と降水(土壌への水の浸透)のタイミングと窒素吸収特性に依存することが明らかになった(Endo et al., 2009; 2013)。本研究課題の申請者は、硝化作用により生成した硝酸イオンが土壌深部へと浸透流出していく中で、作物体が如何にして効率的に無機態窒素を吸収していくかということが問題解決の糸口になると考えていた。青森県のリンゴ生産においては、融雪後に施肥を行う春肥が施肥基準として推奨されている。その理由は、他県で実施されている秋肥を本県において実施すると、融雪水により施肥窒素が土壌深部へと

流亡するためである。この秋肥は、翌春の花芽や新梢の初期生育を促進させる効果を持っている。このため、融雪季初期においてリンゴの根が肥料成分を欲していることから、他県では生産者に対して秋施肥を指導している。積雪地域の果樹生産において、秋肥・春肥施用による無機態窒素の浸透流出挙動は明らかではなく、また、本条件での樹園地における窒素循環機構は解明されていなかった。したがって、本研究を実施することにより、果樹の生育面と土壌の環境面の双方から推奨できる、施肥体系や土壌管理技術を確立することが可能になると申請者が考えていたため本研究を実施するに至った。

2. 研究の目的

青森県のリンゴ生産においては、融雪水の浸透による肥料成分の溶脱を防止するため、融雪後に施肥を行う春肥が施肥基準として推奨されている。しかし、融雪季初期にはリンゴ果樹の根が肥料成分を欲していることから、秋肥を行わないと施肥遅れに起因する障害が見られることもあり、他県においては秋肥を指導している状況にある。農耕地における無機態窒素の浸透流出特性が、施肥と降水のタイミングおよび窒素吸収特性に依存することが近年になり明らかにされてきたが、融雪を伴った無機態窒素の浸透流出挙動や本条件での樹園地における窒素循環機構の詳細はまだ解明されていない。したがって、果樹の生育面と土壌の環境面の双方から推奨できる、施肥体系や土壌管理技術を確立することを目標とし、樹園地における窒素循環機構を明らかにする目的で本研究を実施した。

本研究では青森県内の樹園地(リンゴ)において、秋肥の有無が融雪期の土壌環境に及ぼす影響を明らかにすることを目標としている。そのため、はじめに、秋肥を施用した場合の融雪前後でのリンゴ果樹の窒素吸収量と非吸収量を定量し、窒素の地表面収支量を算定することで農耕地に蓄積される余剰窒素量を算出した。次に、土壌中に蓄積されている余剰窒素と春肥施用の窒素が、春以降のリンゴ果樹の窒素吸収に対してどのように効いてくるのか、また、融雪や降水に起因する浸透水に溶解して、どのように浸透流出するのかを、現場における(1)自動連続測定(フィールドモニタリング)と Endo et al.(2013)の無機態窒素の浸透流出に関する(2)数理モデルを改良しての解析を併用して解明し、最終的に、施肥量・施肥時期の配慮事項を同定し、樹園地における窒素循環機構を明らかにすることを最終的な目的とした。

3. 研究の方法

(1) 平成26年度

はじめに、既往の研究成果を精査しながら、リンゴの春肥前後、生育中期、収穫後において、青森県内の中粗粒灰色低地土のリンゴ園

(青森県藤崎町に位置する農学生命科学部附属生物共生教育研究センター藤崎農場リンゴ園)において、土壌断面調査を行い、深度10, 30, 50, 70, 90, 100cmより攪乱土と不攪乱土を採取した。次に、体積含水率・電気伝導率・地温センサーを任意の深度に埋設し、土壌環境の連続モニタリングを行った。次に、採取した土壌試料の透水性・保水性・熱物性等の土壌物理性を測定することで、リンゴ園における土壌物理性の鉛直プロファイルを作成した。また、土壌化学性については、アンモニウムイオンと硝酸イオンに関する吸着等温実験(Tani et al., 2004; 遠藤ら, 2009)を行い、各深度の窒素に関するイオン種の吸着特性の鉛直プロファイルを作成した。以上の観測や実験を行うことにより、数理モデルの精緻化および数値解析を実施するのに必要な各種パラメータを整備した。

(2) 平成27年度

平成26年度から引き続いてフィールドモニタリングによる樹園地土壌の体積含水率・電気伝導率および地温の同時連続計測を実施した。そして、数値解析の試行結果とフィールドモニタリングの測定結果を照合し、樹園地土壌中の水移動と窒素移動の観点から数理モデル(Endo et al., 2013)の妥当性を検証している。また、秋肥の有無が融雪期の土壌環境に及ぼす影響を評価し、果樹の生育面と土壌の環境面の双方から推奨できる窒素施肥量と施肥タイミングを同定し、果樹園からの窒素溶脱に関する論文を学会に投稿した。

4. 研究成果

数値解析に必要なパラメータの整備

図1に土壌断面結果と変水位法により測定した飽和透水係数の鉛直分布図を示す。データ点と誤差棒は、それぞれ測定値の平均値と標準偏差を表している。土壌表層にはシロツメクサの匍匐茎やナガハグサの根が多く分布していたため、土壌構造は比較的発達した塊状構造を呈し潰すと粒状(極小)になった。深度15cm以深の土壌構造の発達は認められず粒状構造であった。深度70cm付近では直径2~5mm程度の古いリンゴの根が稀に

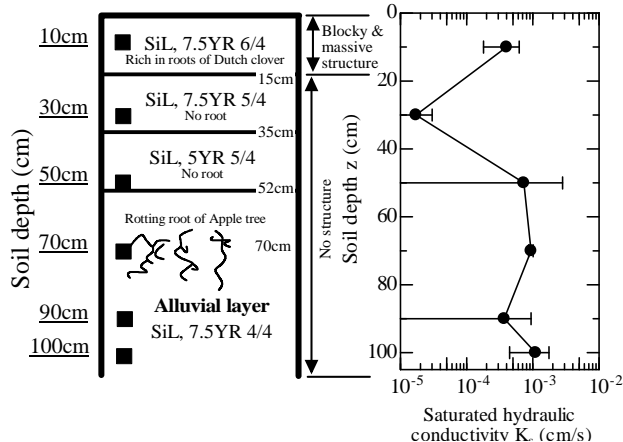


図1 土壌断面図と飽和透水係数の鉛直分布

分布していた。国際土壌学会法による土性分類は全層に渡りシルト質壤土(SiL)と判別され、7.5YR 4/4~4/6の褐色~にぶい橙色を呈していた。飽和透水係数は 10^{-5} cm/sオーダーの深度30cm(硬盤層)を除いては 10^{-4} cm/s程度の中程度の透水性を示した。

図2に保水性と透水性に関する水分特性曲線を示す。データ点と誤差棒は、それぞれ測定値の平均値と標準偏差を表している。70cm以外の深度では水分張力が200cm以上になると体積含水率の減少割合が小さくなり、1600cmでの体積含水率が $0.40 \sim 0.46$ cm³/cm³の範囲にあった。不飽和透水係数の推定値は水分張力が約200cmを超えると急激に減少する傾向にあった。

図3に土壌水抽出液のpH、ECと乾燥土壌100gあたりの無機態窒素量の鉛直分布図を示す。pHは5.83~6.01の範囲、ECは0.12~0.16mS/cmの範囲にあり、リンゴ生育上の好適範囲であった。NH₄-Nは深度10cmのみで検出された。本樹園地が無施肥条件であることから、このNH₄-Nは、地力窒素およびシロツメクサの根粒菌による窒素固定由来のものと考えられる。NO₃-Nの分布は、地表面付近に存在していたNO₃-Nが降雨により溶脱した際に見られるインパルス応答に類似した分布を呈し、深度70cmにおいて最大値0.1mg/100gを確認した。

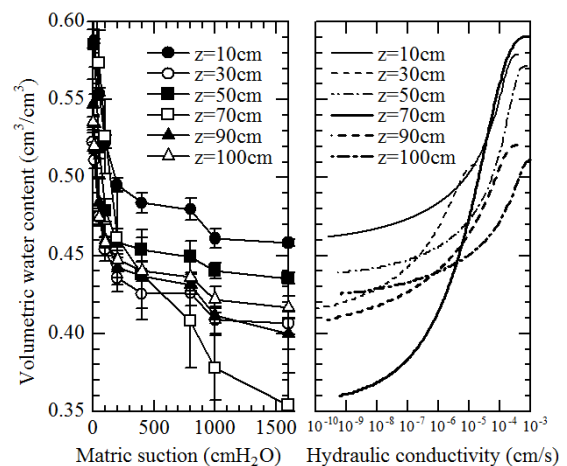


図2 保水性と透水性に関する水分特性曲線

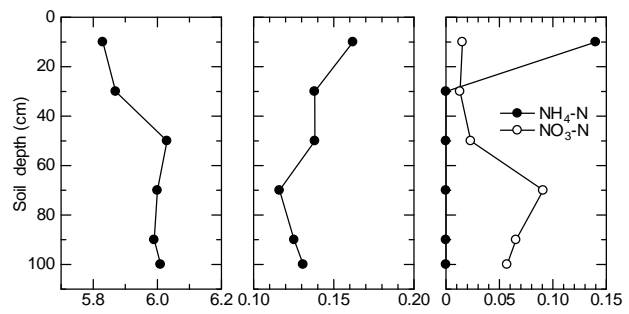


図3 土壌水抽出液のpH、ECおよび水溶性の無機態窒素量

図4に各深度の無機態窒素の吸着等温線を示す。データ点は測定値であり、データ点を通るような曲線はフィッティング曲線を表している。NH₄-Nの吸着等温線はLangmuir型の曲線で表現された。NH₄-Nの0~5mg/Lの低濃度範囲においては、深度z=90cm > 10cm > 100cm > 70cm > 50cm > 30cmの順で吸着等温線の傾きが大きく、0.5~3.2 L/100gの範囲にあった。最大吸着量(Table 2に示したパラメータ(k₁ / k₂) × 100)は深度50cmの112.7mg/100gであり、それ以外の深度においては38.0~64.8mg/100gであった。一方、NO₃-Nの0~5mg/Lの低濃度範囲においては、深度z=90cm > 70cm > 100cm > 30cm > 10cmの順で吸着等温線の傾きが大きかったものの、NH₄-Nと比較して23~71倍少ない0.007~0.14L/100gの非常に小さい範囲にあった。このことから、低濃度範囲にあるNO₃-Nは同濃度範囲のNH₄-Nと比較して23~71倍もの溶脱リスクがあるといえる。また、NO₃-Nの吸着等温線はFreundlich型の曲線で表現されたものの、50cm以外の深度においてはほぼ線形関係にあり、溶液平衡濃度の増加に伴う土壌粒子への溶質吸着量の増加量がほぼ一定であり、また、その量はNH₄-Nと比較して少量であることがわかった。

図5に2014年7月~2016年3月の1年8ヶ月間のリンゴ園土壌(深度10、50、100cm)における体積含水率の経日変化を示す。なお、この体積含水率は計測センサーの校正を実施した後に得たものである。深度10cmの体積含水率は降雨の影響を受け、観測開始後の2014年7月~降雪前の2014年12月ごろまで

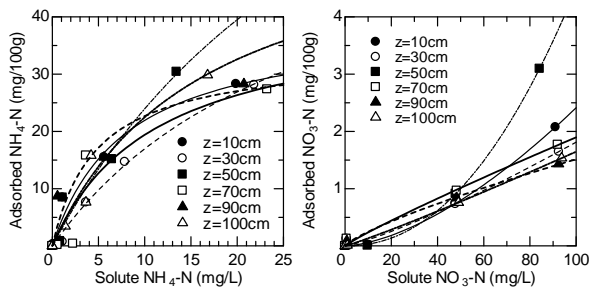


図4 各深度におけるNH₄-NとNO₃-Nの吸着等温線

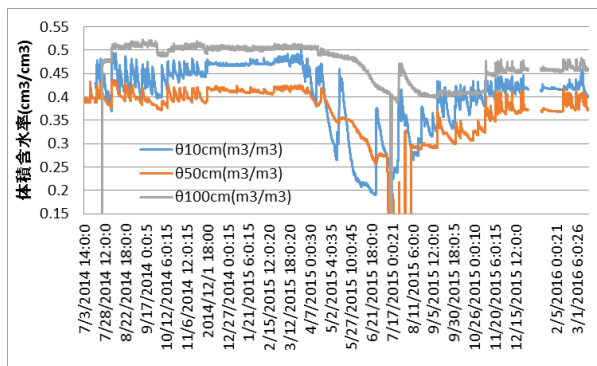


図5 リンゴ園土壌の体積含水率の経日変化

は大きく増減したものの、降雪および積雪期間中の増減は非常に小さかった。深度50cmの体積含水率の増減は深度10cmよりも小さかった。深度100cmにいたっては観測開始時行きから翌年5月中旬の間は体積含水率に大きな差異が見られなかった。2015年3月上旬以降の融雪時期においては、融雪水の浸透とともに深度10cmの体積含水率が若干増加した。この傾向は深度50cmにおいても見られた。その後、2016年の4月以降は降水が少なかったため、内部排水が卓越したことにより各深度の体積含水率は減少した。この傾向は深度100cmにおいても同様に認められた。梅雨時季以降は降水に起因する雨水の降下浸透により体積含水率が増加傾向にあった。

リンゴ園土壌の土壌水分・EC・地温観測

図6に2014年7月~2016年3月の1年8ヶ月間のリンゴ園土壌(深度10、50、100cm)におけるバルク電気伝導率の経日変化を示す。バルク電気伝導率は体積含水率の影響を強く受けた。このため、体積含水率の増加に起因する電気伝導率の増分と、土粒子の電気伝導率を勘案することで間隙水の電気伝導率を求める必要がある。間隙水の電気伝導率の経日変化を図7に示す。深度30cmの間隙水の電気伝導率は観測開始時~2015年7月上旬までの間は0.1mS/cm程度を推移したが、8月上旬以降は0.2~0.3mS/cmと2~3倍に増加して推移した。深度100cmは0.02~0.05mS/cmと非常に低く推移した。

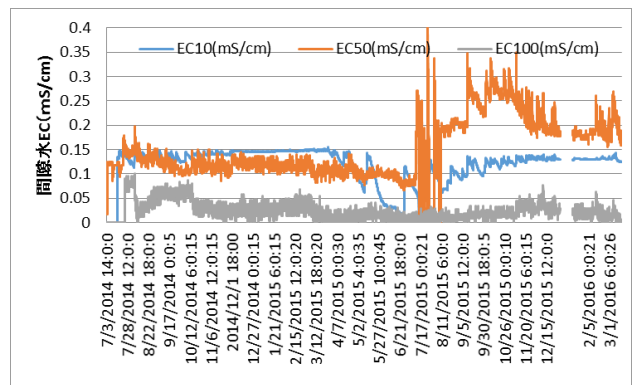


図6 リンゴ園土壌のバルクECの経日変化

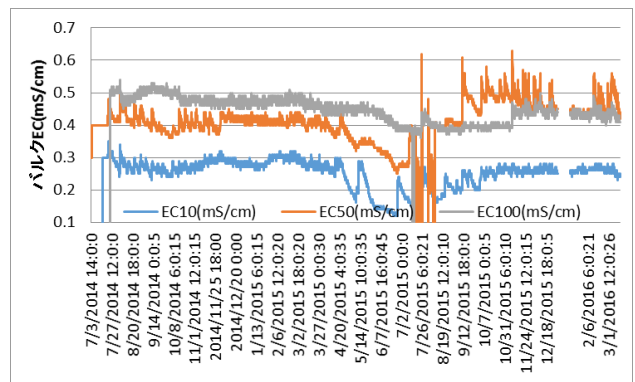


図7 リンゴ園土壌の間隙水ECの経日変化

図8に2014年7月～2016年3月の1年8ヶ月間のリンゴ園土壌(深度10、50、100cm)における地温の経日変化を示す。年間の地温振幅は深度10cmにおいて約30℃と最も大きく、深度100cmにおいて約20℃と最も小さかった。2015年の地温観測により、深度10cmと100cmの最大地温の出現時期の差は約1ヶ月であった。2014年は12月上旬から積雪が開始したため、この頃から深度10cmの地温振幅が減少した。地温の経日変化から2015年3月上旬以降に融雪水の降下浸透が見られ地温がさらに低下し、2015年3月末に完全に融雪したことにより深度10cmの地温が急上昇したことがわかった。

リンゴ園土壌における無機態窒素溶脱に関する数値解析

本研究では、これまで明らかにされてこなかった無施肥条件のリンゴ園(灰色低地土農耕地)土壌の無機態窒素の挙動を理解するため、Endo et al.(2013)の数値モデルを改良し、土壌間隙水中の無機態窒素濃度の時空間的な特徴を把握した。土壌間隙水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ は、吸着能力の低さを反映し、日降水量とリンゴ園土壌の間隙率に相当する深さだけ、短時間のうちに速やかに下方へと浸透流出することがわかった。また、無施肥条件であれば、リンゴ園土壌間隙水中の年平均 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が10mg/Lを下回ることが明らかになった。したがって、リンゴの収量と品質を継続的に維持できるのであれば、施肥基準に定められた量の窒素肥料を無理に施肥しないほうが、地下水環境基準を守ることが可能であることが示唆された。しかし、無施肥条件における土壌中の $\text{NO}_3\text{-N}$ の挙動については、果樹園土壌のモニタリング(特に、バルクECや間隙水EC計測)を行うことで、明瞭にすることができなかった。このため、モニタリング時における測定手法やセンサー校正方法の改良の必要性が示唆された。

<引用文献>

遠藤 明,加藤千尋,佐々木長市,伊藤大雄:施肥・無施肥リンゴ園土壌の無機態窒素の浸透流出挙動,農業農村工学会論文集,2014,294,423-431

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

遠藤 明,加藤千尋,佐々木長市,伊藤大雄:施肥・無施肥リンゴ園土壌の無機態窒素の浸透流出挙動,農業農村工学会論文集,査読有,2014,294,423-431
<http://doi.org/10.11408/jsidre.82.423>

[学会発表](計2件)

遠藤 明,森龍太郎:無施肥条件における灰色低地土リンゴ園における無機態窒素の浸透流出挙動,2014年度農業農村工学会大会講演会,2014年8月,新潟(朱

鷲メッセ)

遠藤 明,加藤千尋,佐々木長市,伊藤大雄:施肥・無施肥リンゴ園土壌における無機態窒素の浸透流出挙動,2015年度農業農村工学会大会講演会,2015年9月,岡山(岡山大学)

6. 研究組織

(1)研究代表者

遠藤 明(ENDO AKIRA)

弘前大学・農学生命科学部・准教授

研究者番号:70450278

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし