

平成22年 6月18日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19580288

研究課題名 (和文) 深層土壌中における水および硝酸性窒素の動態に関する研究

研究課題名 (英文) Research on movement of water and nitrate nitrogen in deep soil

研究代表者

久保田 富次郎 (KUBOTA TOMIJIRO) 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所農村環境部水環境保全研究室・主任研究員

研究者番号：30414460

研究成果の概要 (和文)：

農村流域における地下水硝酸性窒素汚染の影響解析の一環として、深層土壌圏における水と硝酸性窒素の動態に関して、地下水質および水理地質、化学性、生物性の観点から現地調査と分析を行った。地表面から基盤岩に至るボーリングで得られた不攪乱土壌コアの分析から、旧表土およびその直上部が脱窒に関するホットスポットのひとつである可能性が示されたが、一方で以深の層位では脱窒が生じている可能性は低いと考えられた。類似の調査事例は限られており、得られた成果が今後の流域物質循環研究の進展に繋がることが期待される。

研究成果の概要 (英文)：

The movement of water and nitrate-N in deep layers were studied from the viewpoint of the groundwater quality, the hydrogeology, the chemical property and the biological property for the analysis of the groundwater nitrate-N pollution in the rural area. Those characteristics of the deep soil became clear from the analysis of undisturbed core sample that had been obtained by the geological boring from the soil surface to the bed rock. As for the investigated case including such a deep soil, the result achieved extremely few is expected to cause the clarification of the water and N cycles in a river basin in the future.

交付決定額：

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学，農業土木学・農村計画学

キーワード：地下水汚染，水文，水理地質，深層土壌，深層地質，脱窒菌

1. 研究開始当初の背景

世界的にみて高品質の淡水資源の確保は21世紀の重要な課題の一つである。我が国に

おいても、健全な水循環と持続可能な水利用、そして環境と調和する化学物質のリスク管理は科学技術基本政策の重要な目標である

(総合科学技術会議, 2005). 農畜産地域において硝酸性窒素による面源汚染が広がりを見せる中で, 農林水産省では, 1999年の持続農業法や2005年以降の農業環境政策の展開により, 営農段階の対策を強力に推進しているところである. しかし, いったん農業系窒素負荷による地質汚染が生じた地域では, 場所によっては地下水の水質改善に長期間を要することが想定され, 多くの場合, 地下水の入れ替わりや脱窒等の浄化機能による汚染物質の自然減衰を待つ他はないと考えられる. 農業環境政策による水質改善効果がいつ発現されるかということを知るためには, 窒素循環に関する研究が進んでいる土壌圏だけではなく, 深層土壌を含む地質圏における水理地質特性や, 脱窒等の土壌生物機能を把握する必要がある. 現状では, 硝酸性窒素を対象とした深層土壌の水理地質特性や, 脱窒代謝による自然浄化能に関する研究事例は極めて少ないが, 農業系窒素負荷による面源汚染が流域レベルで水資源に及ぼす影響を評価するためには, 深層土壌～地質圏の研究が不可欠である.

2. 研究の目的

研究代表者らは, これまで, 鹿児島県の火山性台地において実施した深さ66mの地質ボーリングで深層の不攪乱コアを採取することにより, 深層土壌の水理地質特性について試行的検討を行い(久保田他, 2005), その時得られた試料を用いて深さ約65mの難透水層を形成する粘土層における脱窒活性が表層土壌並みに高いことを明らかにした(Hashimoto, Furue & Kubota, 2005).

しかし, 深層土壌において水・窒素移動/浄化にかかわる水理地質特性を把握するための評価法が確立されておらず, 農畜産地帯から溶脱した硝酸性窒素の深層土壌での脱窒による低減効果の評価が困難である, などの課題が残されている.

本研究では, 深層土壌中の水と硝酸性窒素の動態を明らかにすることを目的とする. 特に, 硝酸性窒素の動態に関して, 水理地質構造の影響を受ける土壌水分とともに, 堆積環境の影響を反映する土壌生物等の条件により, 土層中における局所的な脱窒により窒素浄化機能が働いているとの作業仮説を立て検証を試みる. そのためにまず, 深層土壌の不攪乱コアの採取及び分析法について検討し実施することにより水理地質構造を把握する. また, コアの理化学性と脱窒に関する土壌生物機能を調べ, 水理地質構造との関わりを明らかにする. さらに地下水の水質を調べて, 深層を含めた地下水中の硝酸性窒素の分布の特徴を明らかにする.

3. 研究の方法

(1)流域を対象とした水理地質構造と帯水層別地下水水質の関係解明(2007年)

茨城県恋瀬川流域(図1)を対象として, 水理地質構造と地下水中の硝酸性窒素濃度をはじめとする水質との関係解明を行う.



図1 対象流域(茨城県恋瀬川流域)と調査測線(A~D)

(2)地質ボーリング技術を用いた不攪乱深層土壌コアの採取条件の検討とコア採取(2007年~2008年)

①調査地区



図2 調査地点図(鹿児島県肝属川流域)

調査対象地は, 畜産を中心とする農業系負

荷量が多く、地下水硝酸態窒素汚染が懸念されている鹿児島県鹿屋市下堀地区（図2）とした。調査地は主に入戸火砕流で地形が概成された台地上に位置する。調査地域の年降水量は2619mm、平均気温は17.4℃である。

②地質ボーリング調査

調査地において地表から水理基盤をなす基盤岩までの地質ボーリング調査を実施して、物理性・化学性・生物性を調べるための土壌/地質コアの採取を行う。

ボーリング調査は不攪乱状態の地質試料を得るために一部の深度を除いてオールコアで掘削する。なお、現地で得られた土壌コアは、サンプルの劣化を防ぐため現地採取後冷蔵庫で保管し、速やかに分析に供する。

(3)深層土壌の不攪乱コアを用いた物理性・化学性・生物性の評価(2008～2009年)

①採取した土壌コアを用いて、室内試験に供するための適切な前処理の方法や手順について検討する。

②土壌コア分析による物理性・化学性・生物性の評価

採取した土壌サンプルを用いて、理化学性ととも脱窒活性等の窒素浄化機能に関わる土壌生物機能の評価を行う。

土壌コアの分析項目を表1に示す。

表1. 土壌コアの分析項目

	分析項目
物理性	飽和透水係数・三相分布、真比重・粒径分布・pF曲線
化学性	pH, EC, T-C, T-N, CEC, 交換性塩基, P ₂ O ₅ , NO ₃ -N, NH ₄ -N
生物性	脱窒菌数・潜在的脱窒活性・生菌数

(4)地質ボーリング孔の地下水調査(2008～

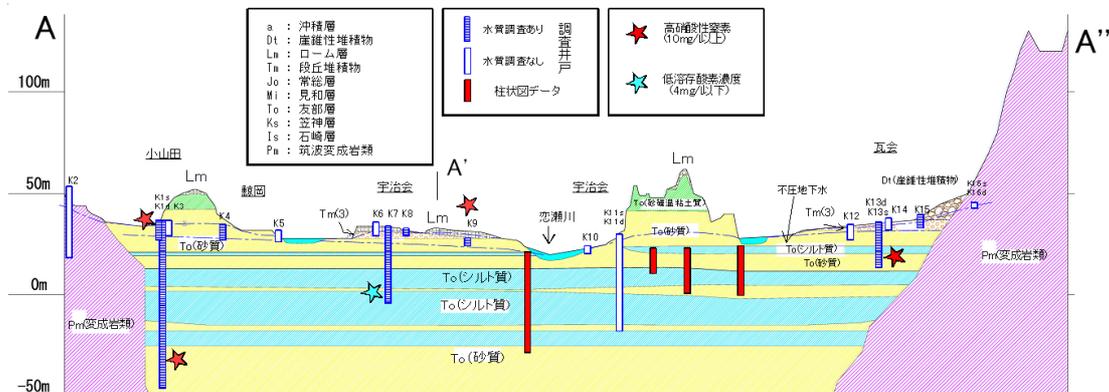


図3 恋瀬川流域の水理地質構造と地下水環境（図1の調査側線A～A'）

2009年)

地質ボーリング後に設置した観測井を用いて地下水質の調査を行う。

表2 恋瀬川流域の地質層序

時代	地層名		地下水の存在形態	
	柿岡盆地	新治台地		
更新世	沖積層(a)			
	崖錐性堆積物(Dt)			
	ローム層(Lm)		不圧地下水(宙水)	
	後期	段丘堆積物(Tm)		不圧地下水
		中位Ⅲ段丘堆積物	常総層(Jo)	難透水層
		中位Ⅰ段丘堆積物	見和層(Mi)	
	中期		笠神層(Ks)	不圧～被圧地下水
友部層(To)		石崎層(Is)		
前期			被圧（一部不圧）	
先第四紀	深成岩類(筑波花崗岩)			基盤岩(難透水) (裂か水)
	筑波変成岩類			

4. 研究成果

(1)流域規模を対象とした水理地質構造と帯水層別地下水調査からみた硝酸性窒素濃度(2007年)

恋瀬川流域の水理地質について既往の地質層序研究に基づき整理するとともに、地下水調査データと対比検討を行ったところ、次の知見が得られた。

①流域の地質層序が整理され(表2)、水理地質と水質の関係が明らかになった(図3)。

②流域の浅層地下水は、無機イオン組成から主に中間型を中心に分類され、深層の地下水の一部は重炭酸カルシウム型と重炭酸ナトリウム型に分類された。また、調査流域内の広い範囲で浅層地下水を中心に硝酸性窒素濃度が高い井水がみられたが、そのような井

戸の周辺土地利用は畑地や樹園地または畜舎近傍が多いことがわかった。

③友部層の深層や石崎層の一部など特に海面下に井戸底標高を持つ井戸において地下水の還元化が進み、低 ORP、低溶存酸素、高 pH などの特徴をもつ地下水が見られた。そのような井水は硝酸性窒素濃度が低く脱窒が生じている可能性が示唆された(図 4)。

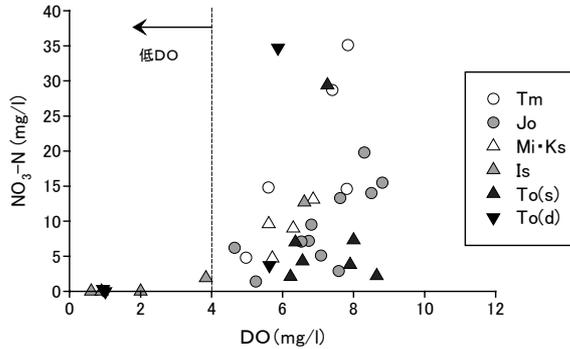


図 4 地下水の溶存酸素(DO)と硝酸性窒素濃度の関係 (恋瀬川流域)

(2)ボーリング調査と得られた地質試料

ボーリング調査は、2007年11月から2008年1月にかけて台地上の畑の一角(標高 50m)において実施し(図 5)、土壌・地質サンプルの採取後に地下水観測井を設置した。

地質ボーリングの掘削深度は、地表から GL-97m まで行い、このうち GL-88m までを孔径 86mm, GL-88 ~ 97m を孔径 66mm で掘削した。また、GL-6 ~ 26m の深度では、周辺の地質柱状図から入戸火砕流堆積物(A-Ito)が出現することが容易に予測されたので、コスト削減のためノンコアで掘削した。コアの採取には攪乱が少ないトリプルコアパッケューブを用い、1m毎にサンプルを採取し一部はアクリル管内に採取した。さらに、掘削時にはコンタミを避けるため泥水を用いず、地下水面上では無水掘等、地下水面下ではアクリルポリマーを用いて地質コアや地下水観測井への影響が少なくなるよう留意した。



図 5 地質ボーリング調査

地質断面を近隣の柱状図データを含めた推定地質断面を図 6 に示す。

調査地点の地質層序を概観すると、まず地表から GL-3.4m が新期ローム、GL-3.4m ~ 63.3m が A-Ito であり、上部は風化が進んでいる。以下、GL-63.6 ~ 71.4m : 大隅降下軽石層(A-Os), 71.4 ~ 72.7m : 有機質砂質シルト(Si), 72.7 ~ 75.4m : 砂礫/粘土混り砂礫, 75.4 ~ 78.7m : 火山灰/火山灰質砂・シルト, 78.4 ~ 88.1m : 四万十類層群(風化砂岩), 88.1 ~ 97.2m : 四万十類層群(砂岩・頁岩互層)と続いた。

これにより得られた地質断面(図 6)をみると、ボーリング前の予備調査で調査地点において観察される可能性が高いとみられた阿多火砕流堆積物が欠落していた反面、A-Ito の層厚が周辺と比べて厚いことから、調査地点は A-Ito および A-Os が堆積した 2.9 万年前

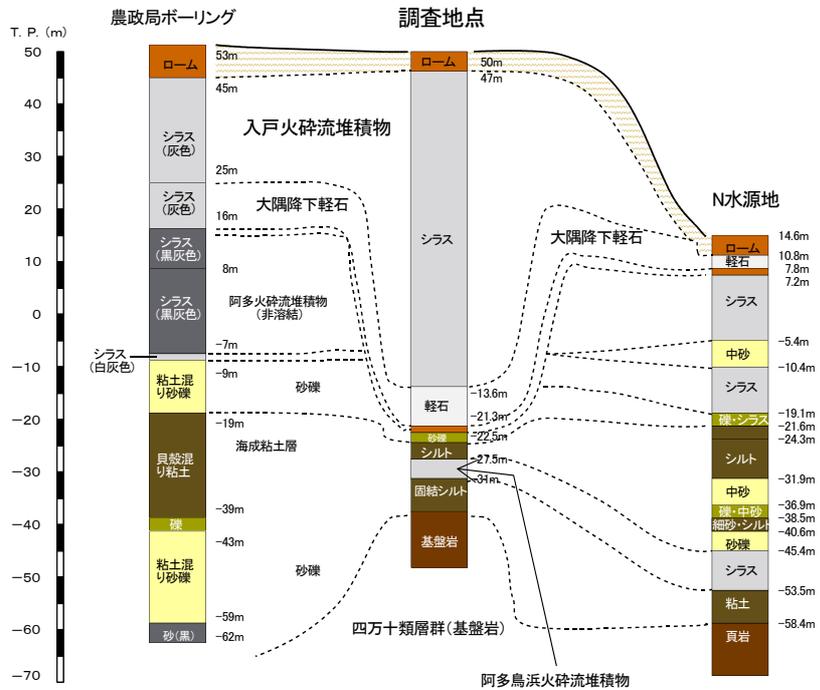


図 6 ボーリング調査地点と周辺の地質断面

以前に地形的に谷部であったことが推察された。調査孔の地下水位は GL-31m であった。

(3) 土壌コアの前処理方法や手順の検討

採取した不攪乱コアを用いた水理地質特性並びに窒素移動特性の評価試験として、試験装置の試作や前処理方法、作業手順について検討した。具体的には不攪乱土壌コアと保護管（アクリルパイプ）との隙間を埋めるための充填材や注入方法を検討した。その結果、充填材としてエポキシ系接着剤が扱いやすいことがわかった。また、カラム試験器を試作し、飽和／不飽和透水係数・溶質分散係数等の測定を試みた。

(4) 調査地点の水理地質と化学性・生物性

調査地点の水理地質構造は、Si 層(GL-72m 前後)を難透水層として A-Ito および A-Os 中に第一帯水層が存在している。また、Si 層の下位の砂礫層は、一般には第二帯水層と考えられるが、図6でみたように本地点が谷部に存在し、旧河道が近傍にあった可能性が高いことを考えると、第一帯水層以深にみられるシルト層を挟んだその下の砂礫層までは水理的に連続している可能性が高いことが推察された。また、流域の水理地質基盤として、四万十類層群が確認された。主要帯水層の飽和透水係数は A-Ito で $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{cm/s}$ 、A-Os で 10^{-2}cm/s 前後であった。

化学性について、全炭素含量をみると表層付近(0~2.4m)で 1.6~6.8%と比較的高いものに対して A-Ito~A-Os 中では 0.01~0.17%と低く、さらに基盤岩では 0.03%であった。一方、旧表土であったと考えられる Si 層では 3.6%と高かった。また、その下位のシルト層(GL-76.5m)の全炭素は 0.07%と低かった。全窒素についても同様の傾向であったが、アンモニア性窒素含量は、旧表土や下位のシルトや砂層(1.4~1.9 mg/100gDW)で表層から A-Os 層にかけて(0.0~0.3mg/100gDW)より多かった。

また、陰イオン交換容量(AEC)は、土壌及び表層地質(0~5m)において高く(1.2~26 mmol/kg)、シラス層以深では 0.5 以下と低いことがわかった。このことから硝酸性窒素の溶脱過程において生じる遅延は主に表層から 5m までで生じ、それ以深ではほぼ水移動に従って硝酸性窒素が移動することが明らかになった。

地質層位別の脱窒活性は、表土で 30.9(nmole/h/gDW, 単位は以下同じ)であったのに対して、A-Ito(GL-31.6m)では 0.22, 旧表土上層(GL-71.6m)で 0.16, 以深のシルト層では 0.01~0.04 であった。潜在的脱窒活性では、作土の 32.7 に対して A-Ito では 0.13 と低かったが、旧表土では 242~355 と表土より高く、

以深のシルト層では 0~0.03 と低かった。また、基盤岩の脱窒活性は 0.10, 潜在的脱窒活性は 0.32 であった。

この結果から旧表土の層位では、潜在的脱窒活性が特に高く、また全炭素含量も高いものの、基質の不足により脱窒が抑制されている可能性が高いことがわかった。一方、下位のシルト層は、基質が十分存在しても脱窒が生じにくい環境であると考えられた。

(5) 観測井における地下水水質の鉛直分布

観測井中の電気伝導度(EC)と ORP の分布を図7に示す。A-Ito 層上部では EC が $600 \mu \text{S/cm}$ を超えて地下水汚染の影響を反映しているものと思われるが、帯水層深部に向かうに従って EC は減衰する傾向がみられた。また、ORP は 60m から深層に向けて徐々に低下する傾向がみられた。

なお、観測井を用いた地下水水質観測は、その後、年に数回実施したが、安定した採水や水質測定はできなかった。観測井内部における鉛直流動等が影響した可能性がある。

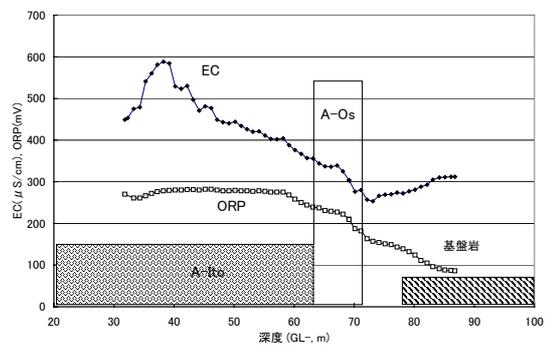


図7 観測井の地下水の水質鉛直分布

(7) まとめ

以上のように、本研究では、農業系窒素負荷による面源汚染が流域レベルに及ぼす影響を念頭におき、深層土壌の水と硝酸性窒素の動態や、水理地質や化学性・生物性などの多角的な観点から、2つの地域で調査を行った。その結果、以下の事項が明らかとなった。

まず、流域規模での水理地質特性と地下水硝酸性窒素濃度や他の水質項目との関係の検討から、被圧地下水の一部において、硝酸性窒素は ORP, DO の低下と pH の上昇を伴ってほぼ検出されなくなることがわかった。

また、ボーリング調査から、地表面下 72m 前後に存在する旧表土は、炭素含量が高く脱窒活性も比較的高いが、基質の不足により脱窒は制限を受けているものと考えられた。一方、還元化が進んだより深い層位では、脱窒が生じる可能性が低いことがわかった。

このことから、当初想定した「土層中における局所的な脱窒により窒素浄化機能が働いている」という仮説について、調査事例に

即して考えると、第一帯水層基底部に接し有機物が多い土層（旧表土）とその直上部において基質不足による制限を受けているものの脱窒が働いている可能性が高く、調査地区の深層土壌における脱窒に関するホットスポットのひとつであると考えられる。

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3件）

①久保田富次郎・三浦理司・高木強治・松森堅治、井戸調査と地質資料からみた恋瀬川流域の水理地質と地下水環境、農村工学研究所技報207号P35-52, 2008年, 査読有

②田中正一・古江広治・久保田富次郎, 多腐植質厚層黒ボク土畑における土壌水の動態と収支, 鹿児島農業開発総合センター研究報告, 2号P25-34, 2008年, 査読無

③田中正一・古江広治・前田守弘・久保田富次郎・脇門英美, 鹿児島農業開発総合センター研究報告, 3号P63-71, 2009年, 査読無

〔学会発表〕（計8件）

①久保田富次郎・井上敬資・中里裕臣・竹内睦雄, シラス台地を対象とした比抵抗法による土壌水分モニタリングの適用性の検討, 日本地球惑星科学連合大会, 2007年5月21日, 幕張メッセ（千葉市）

②久保田富次郎・井上敬資・中里裕臣・石田聡・古江広治・竹内睦雄, 人工涵養試験における深層土壌水分動態の可視化, 土壌物理学学会シンポジウム, 2007年10月13日, 九州大学

③Tomijiro KUBOTA・Hiroshi MIURA・Kyoji TAKAGI・Kenji MATSUMORI, Nitrogen contamination and its movement in the Koise river basin, Ibaraki, Japan, 36th Integrating groundwater science and human well-being congress (IAH), 2008年10月31日, 富山国際会議場（富山市）

④久保田富次郎・三浦理司・高木強治・人見忠良・濱田康治・松森堅治, 帯水層別の地下水水質からみた深層土壌・地質圏の窒素循環, 農業農村工学会大会講演会, 2007年8月29日, 島根大学

⑤久保田富次郎・橋本知義・田中正一・脇門英美・高橋努・人見忠良・濱田康治・白谷栄作, 鹿児島県肝属川流域の水・窒素循環把握のための深層土壌・地質および水質調査, 農業農村工学会大会講演会, 2009年8月5日, 筑波大学

⑥久保田富次郎・高木強治・松森堅治・三浦理司, 恋瀬川流域の水理地質と地下水環境, 日本地球惑星科学連合大会, 2008年5月28日, 幕張メッセ（千葉市）

⑦田中正一・古江広治・久保田富次郎, 厚層多腐植質黒ボク土畑における土壌水の動態

と収支, 九州農業研究発表会, 2007年8月28日, 鹿児島大学

⑧田中正一・久保田富次郎・脇門英美・古江広治, 鹿児島県シラス台地畑における土壌水の動態, 日本土壌肥料学会, 2008年9月9日, 名古屋市立大学

6. 研究組織

(1)研究代表者

久保田 富次郎 (KUBOTA TOMIJIRO)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・水環境保全研究室・主任研究員

（現 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・九州沖縄農業研究センター・南西諸島農業研究チーム・主任研究員）

研究者番号：19580288

(2)研究分担者

(3)連携研究者

(4)研究協力者

橋本 知義 (HASHIMOTO TOMOYOSHI)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・九州沖縄農業研究センター

研究者番号：90343946

古江 広治 (FURUE KOJI)

鹿児島県農業開発総合センター・生産環境部

田中 正一 (TANAKA SHOICHI)

鹿児島県農業開発総合センター・茶業部

脇門 英美 (WAKIKADO HIDEMI)

鹿児島県農業開発総合センター・大隅支場