

白川中流域畑地帯における表層土壌中の窒素鉛直分布の変化について

甲斐陽介* 市川勉**

On Changes in Nitrogen Vertical Distribution of Surface Soil in the Middle-Shira River Farmland area

by

Yosuke KAI and Tsutomu ICHIKAWA

(Received: September 30, 2015, Accepted: February 24, 2016)

Abstract

The Kumamoto area, Kyushu, Japan has 1,041km² in area and about 1million in population. This area is a greatest area in Japan which depends on groundwater for all of drinking water. But nitrate nitrogen concentration of groundwater and spring is rising. Household effluents, livestock manure and fertilization are major source of the nitrate nitrogen pollution of groundwater. Measures for domestic sewage and livestock manure have already been built. Measures for domestic wastewater is done by the sewer, measures against livestock manure is being implemented by the law on waste of livestock. However, there have been no measures against fertilization. Since the amount of fertilizer is left to farmers, then it is not been able to control.

In this study, measuring the amount of nitrogen in soil by two weeks interval through the year is done in order to know the behavior of nitrogen in surface soil. The undisturbed samples are collected and measured the amount of nitrogen in three points of farmland. As a result, it is found that ammoniacal nitrogen is change to the nitrate nitrogen by oxidation in the surface soil. Nitrogen is able to penetrate easily beyond the depth of 30cm to the bottom of the plow layer. Then, nitrogen penetrates without being absorbed by the crops.

Key Words: Nitrogen, Farmland, Surface soil

1. はじめに

熊本市を中心とした 11 市町村からなる熊本地域では人口約 100 万人のほぼ 100%が地下水を飲用に利用しており¹⁾、日本では最大、世界でも有数の地下水利用地域である。近年は田畑の耕作放棄や水稲作付調整政策、都市化による農地の減少、森林の管理放棄などによる地下水涵養量の減少により熊本地域の地下水位は低下しつつあることから、熊本県・市は地下水涵養量の増加目標を 4,000 万 m³とし、2004 年より大津町、菊陽町の白川中流域の水田地帯で湛水事業が開始された²⁾。市川の過去 10 年間 (2004～2013 年) の研究によると、湛水事業による地下水涵養量が初年である 2004 年の 920 万 m³か

ら 2008 年には約 2,000 万 m³に増え、その後ほぼ一定量で推移している³⁾。しかし、近年、硝酸性窒素による地下水汚染が徐々に進行している。熊本市による観測では 1990 年から 2009 年の 19 年の間に江津湖の湧水の硝酸性窒素濃度が約 2mg/L から約 3mg/L へと増加していることがわかった⁴⁾。高濃度の硝酸性窒素は 4 ヶ月未満の乳幼児に対し、血液中の酸素運搬能力が低下するメトヘモグロビン血症を引き起こす原因とされている⁵⁾。硝酸性窒素による地下水汚染の主な原因は生活排水、家畜糞尿、施肥である。生活排水は下水道の普及、家畜糞尿は家畜排せつ物法の施行により対策が立てられているが、施肥については各農作物に施肥基準量 (例えば冬まきハクサイで肥料中に含まれる窒素量、すなわち、肥料中に

*東海大学大学院産業工学研究科社会開発工学専攻院生

**熊本教養教育センター教授

含まれる窒素の重量は 10a 当り、基肥で 20~25kg、追肥で 5kg、合計 25~30kg⁶⁾ が定められているものの、大部分の農地で農業者にその施肥量を任せており、施肥量のコントロールができていないのが現状である。

そのような現状を踏まえ、各地で硝酸性窒素による地下水汚染の原因追求、地下水汚染抑制のための研究が行なわれており、長谷川らは、20 年間で浅層地下水中の硝酸性窒素濃度が上昇している原因が畑地への化学肥料や残余家畜排出物の増施が原因であることを明らかにし⁷⁾、林らも、地下水の硝酸性窒素汚染の主な原因が、農地等に供給された化学・有機肥料および堆肥を含む家畜排泄物であることを明らかにしている⁸⁾。また、西尾らは、畑地に施用したアンモニア態窒素の硝化率の推移と土壌中の分布を簡易に予測できるモデルを確立している⁹⁾。

土壌中窒素の挙動についての研究も数多くされており、特に多いのがライシメーターを使用した実験である。ライシメーターは土壌の理化学的性質を研究する装置であり、土層の水収支や土中の塩類溶脱状況を精密に調べる事が出来る¹⁰⁾。ライシメーターを使用し、三浦らは、茶園における有機質肥料の過剰施肥によって短期間に窒素溶脱量の増大が引き起こされることを明らかにした¹¹⁾。また、鈴木らは、浸透水の硝酸性窒素濃度は、施肥量が多いほど高い傾向であることを明らかにした¹²⁾。さらに松丸は、肥料窒素の作物吸収率は有機質火山灰土である黒ボク土に比べて砂質土では小さいことを明らかにした¹³⁾。しかしライシメーターを使用した研究では、三浦らの研究では深度 60cm¹¹⁾、鈴木らの研究では深度 90cm¹²⁾、松丸の研究では深度 130cm¹³⁾ に浸透した水を採水していることから、窒素の浸透濃度については明確にすることが出来るが、採水深度に達するまでの窒素の挙動については明確にすることは困難である。

このような問題を解決する事が出来るのがカラムを用いた試験である。カラムでは不攪乱試料を採取する事が出来ること、また、畑地土壌の様子を自然条件を損なわずに室内実験出来るからである。前田らは、カラムを使用し、硝酸性窒素の吸着及び移動遅延は共存陰イオン種および土壌 pH で大きく異なることを明らかにしている¹⁴⁾。また、中山らは、火山灰土中のアロフェンにおける硝酸性窒素の吸着は pH 環境に大きく依存していることを明らかにした¹⁵⁾。しかし、これらの研究方法は土壌をカラム内に充填したものであり、かつ、土壌が圧密を受けないようにカラム下端から上向きに通水している。不攪乱資料の採取には手間がかかること、比較を行なう土壌資料が同じ条件で採取できない事等が、不攪乱資料を使用しない理由であると考えられる。ワグネルポットを使用し実験を行なった藤富らの研究では、不攪乱土壌を



図一 白水台地の位置 (Yahoo 地図に加筆)



図二 調査地点の位置 (Yahoo 地図に加筆)

用いてより圃場条件に近い状態で検討する必要があるととしている¹⁶⁾。

著者らは、熊本県の菊陽町と大津町、阿蘇くまもと空港の北側に広がる白水台地の畑地で表層土壌中の窒素の挙動を見るために土壌調査を行なった。2013 年 6 月~9 月までの 3 ヶ月間、1 カ月間隔で調査した結果、施肥した窒素が降雨による浸透によって下へ溶脱していることは判明したが、調査対象地域の白水台地は浸透能が高く、浸透速度や窒素の挙動については 1 ヶ月間隔では判別できない事が判明した。そこで本研究では、3 筆の畑で年間を通じて 2 週間の間隔で、地表面下 110cm まで 10cm 間隔で採土器によって不攪乱試料を採取し、簡易土壌養分分析試験¹⁷⁾ によって、窒素量を測定した結果について報告する。

2. 研究対象地域の概要

白川中流域は図一に示すように阿蘇西麓から熊本市東部に位置する大津町、菊陽町と熊本市の一部の水田地帯を指す。一帯には畑地や林地、水田地帯が広がっており、調査対象地域の白水台地は図一に示すとおり、阿蘇くまもと空港の北側に位置している。これらの地域の水田は「ザル田」と呼ばれるほど高い浸透能力を持っている。これらの地域は熊本地域で最大の地下水涵養域で

あり、白川中流域の飼料作物も含んだ水田と湛水田の合計地下水涵養量は2013年では、約7,000万 m^3 と推計されている¹⁸⁾。また、これらの地域では水田だけではなく、畑地においても高い浸透能を持っている。特に、白水台地の畑地では、吉井らの研究で平均51.7mm/hr.という高い浸透能が観測されている¹⁹⁾。

3. 簡易土壌養分分析と浸透能

図-2のように、任意に選択した地点①～③の3筆の畑において、採土を行なった。採土器に高さ5cm、直径5cmのカラムを取り付け、表面(0～5cm)のサンプルと、カラム内の中心深度が地表面から110cmまで10cm間隔になるよう、合計12個のサンプルを採取した。次に、松岡らが行なった研究を参考にし、簡易土壌養分分析法にて窒素量の計測を行なった¹⁷⁾。土壌中水分を蒸発させる方法として、風乾燥(薄く平らに広げた土に風を送り乾燥させる方法)と炉乾燥(乾燥炉にて100℃で24時間乾燥させる方法)がある。一般に土壌の養分分析には風乾燥が使われる。同じサンプルで比較実験を行なった結果、炉乾燥ではアンモニア性窒素が約8.5mg/L、硝酸性窒素が約2mg/Lであったのに対し、1週間の風乾燥では硝化が進みアンモニア性窒素が6mg/L、硝酸性窒素が約4mg/Lとなった。全体の窒素濃度は互いに約10mg/Lと大きな差はなかった。サンプルが多く短期間に採土するため、本研究では持ち帰ったサンプルの重量を測定し、乾燥炉にて100℃で24時間乾燥させる炉乾燥を採用した。土壌養分分析法では、すり鉢を用いて乾燥させたサンプルを細かく磨り潰し、0.85mmふるいに掛け、通過した試料を使用する。純水と通過した試料を2:1の割合で混合し、3分間攪拌させ、1.0 μm メンブレンフィルターを取り付けた減圧濾過器を用いて減圧濾過を行う。濾過した検液をデジタルパックテストを用いて、アンモニア性窒素、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素、リン酸態リンの濃度を求めた。以下では、無機態窒素であるアンモニア性窒素、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素の合計を全窒素として表記する。

また、畑地直下の窒素の動向をより詳しく明らかにするために、内外2本のパイプを地面に打ち込み、その両方に水を入れ、内側のパイプ内の水位変化を計測するダブルリング法による浸透能試験を行なった。外側のパイプの水は、内側のパイプの側方浸透を少なくし、試験への誤差を少なくする効果がある。Kostiakovの式²⁰⁾を用いて最終浸透能の評価を行なった。その結果、地点①では14.5mm/hr.、地点②では6.8mm/hr.、地点③では8.5mm/hr.と高い浸透能となった。過去の研究では、地点①では25.5mm/hr.、地点②では75.6mm/hr.とさらに

高い浸透能であった¹⁹⁾。この浸透能の差の原因は、営農に影響のない場所で試験を行なったため、農業機械の出入り口や畑の縁では畑地が固められていることが原因と考えられる。

4. 結果と考察

対象地域の畑地の表層土は黒ボク土である。採取した土壌の間隙率はカラム内に入っていた土壌の体積を用いて求め、深度別年間平均間隙率を表したものが図-3である。表面と深度10cmでは天候に左右されやすいことから50～70%とばらつきがあった。深度20cmでは全体の中で間隙率が一番低く約50～60%であった。深度30cmでも変動が激しく約50～80%であったが、深度40cm以下では65～80%であり安定しており、全ての地点においてほぼ同様な傾向を示した。各地点の体積含水率を表したものが図-4～6である。全ての地点において表面付近では30～60%と、やはり降雨や畑地灌漑に影響されることがわかった。地点①では深度20cm～40cmにかけて、全体的に増加傾向を示しているが、深度50cm付近からばらつきが大きくなっている事が分かる。地点②でも深度20cm～40cmにかけて、全体的に増加傾向を示している。深度100cmでは大きくばらつきが出ている。地点②の深度100cm付近では、採土時にも間隙が多く、空洞になっていることもあり、このような事が影響しているのだと考えられる。地点③でも深度20cm～40cmにかけて、全体的に増加傾向を示しているが、深度40cm以下では50～70%の値で推移しており、他地点とは異なった形のグラフとなった。全地点の体積含水率の傾向として、表面付近では30%以下60%以上となることはほとんどなく、深度20cm以下では40%以下80%以上となることはほとんどなかった。また、間隙率と体積含水率のグラフより、緩やかに水分移動が行なわれている事が分かり、これらのことより、前述したとおり、高い浸透能力によって水分移動が早い事が推定される。

図-7～9は、体積含水率と降雨(熊本地方気象台益城観測所のアメダスデータ)との経過を示したものである。5月31日は4日前の4月27日から降雨がなかった。11月14日は2日前の11月12日に0.5mm/dayの降雨が観測されたが、4日前の11月10日から2日前の11月12日以外降雨がなかった。12月23日は3日前の12月20日に13.5mm/day、2日前の12月21日に1.5mm/day、1日前の12月22日に0.5mm/dayの降雨が観測された。

地点①では降雨の少なかった5月31日と11月14日は似通った分布を示しているが、深度50cm以降では5月31日の方が高い値を示している。降雨が確認されている12月23日では、表面の値は高くなったものの、深

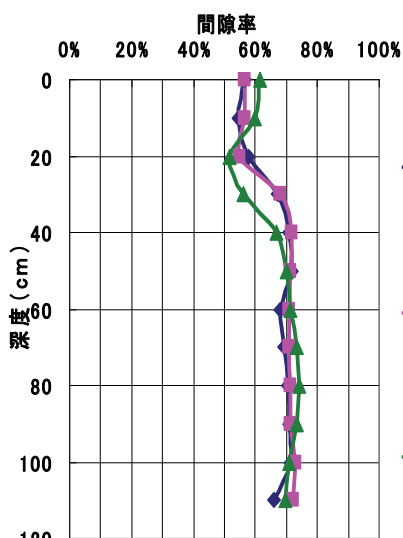


図-3 深度別平均間隙率

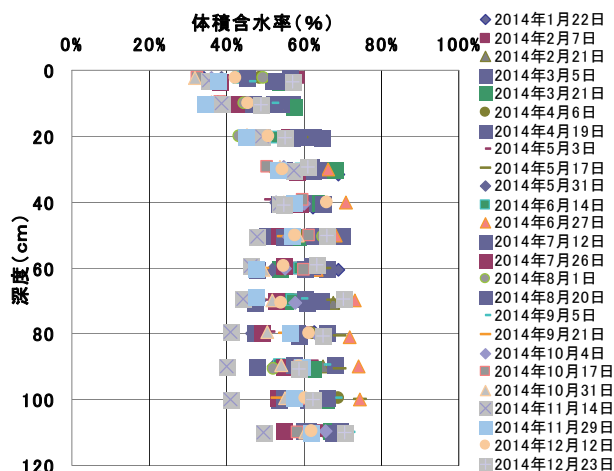


図-4 地点① 体積含水率

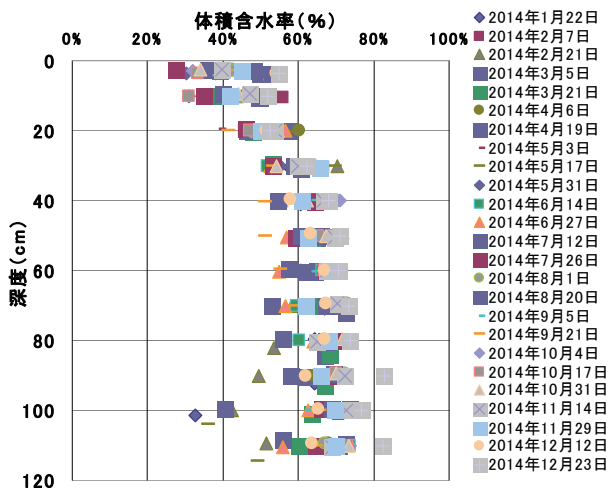


図-5 地点② 体積含水率

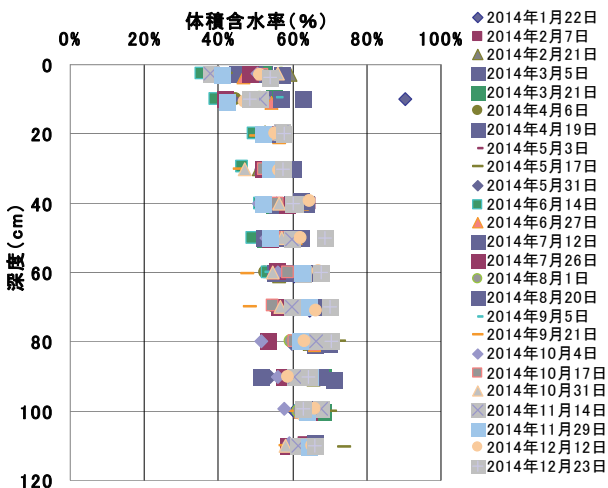


図-6 地点③ 体積含水率

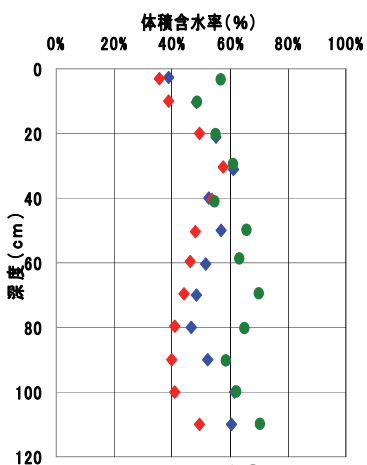


図-7 地点①

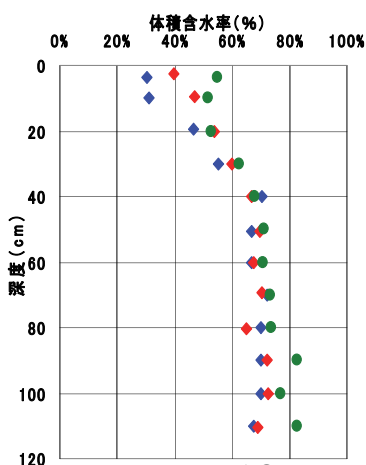


図-8 地点②

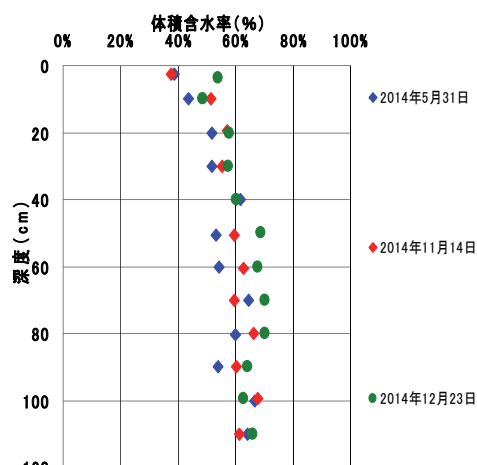


図-9 地点③

度20cmから深度40cmまで同様な分布を示しているが、深度50cm以降では降雨の影響で高くなっている。

地点②では降雨の影響を受け、表面付近では降雨のあった12月23日の値が高くなっている。しかし、深度20cm以深の値は日にちに関係なく似通った分布を示している。これは地点②が高い浸透能（過去の研究より75.6mm/hr.）を持っているという事が関係していると考えられる。

地点③も同様に、表面付近では降雨の影響を受け、降雨のあった12月23日の値が高くなっている。深度40cm付近までは似通った分布を示しているが、深度50cmから80cmにかけては一番高い値を示した。これらの高い含水率が降雨の影響であることは間違いないと考えられるが、詳しいメカニズムについては、今後、室内実験によって、土壤中水分の移動についても検討する。

2013年6月下旬から9月上旬にかけ、白水台地の畑地8筆における深度1mまでの土壤中の窒素量の測定を1ヶ月間隔で行なった。図-10は8筆の中のキャベツ・ニンジン畑のカラム内窒素量の深度1mまでの変化である。この図を見て分かる通り、6月28日の深度30cmの約12mg/Lが7月29日には検出されなかったことや、9月6日の深度80cmで値が突出しており、1ヶ月前の7月29日ではこのような値が検出されなかったことから、1ヶ月間隔では表層土壤中の窒素量の鉛直分布も変化については判別できない事が明らかになった。そこで、2014年に採土期間を2週間間隔に短縮し、図-10と同期間の窒素量の鉛直分布を表したものが図-11である。7月26日の深度50cmの高い値は、2週間前の7月12日の表面から深度50cmでは検出されておらず、また、2週間後の8月1日の深度50cm以下でも検出されなかったことから、窒素は1ヶ月間で容易に深度110cm以下に溶脱するという事が推定できる。地点②の浸透能は6.8mm/hr.（過去の試験では75.6mm/hr.）という高い値であり、圃場の状態にもよるが、2週間間隔ではすでに浸透深さが1mを越えていると推定できる。

次にアンモニア性窒素と硝酸性窒素の分析結果を述べる。図-12は地点③におけるアンモニア性窒素の深度別濃度である。この図を見てわかるとおり、アンモニア性窒素の濃度は表面付近の値が高く、深度が深くなるほど低くなっている事が分かる。これは土壤表面に撒かれた直後の肥料内窒素がアンモニア性窒素であることを示しており、好気条件下で、硝化が進んでいる事が原因として考えられる。また、アンモニア性窒素は陽イオンであることから、陰イオンである土壤に保持されやすく地下浸透しにくいことも考えられる。これに連動するように図-13の地点③における硝酸性窒素の深度別濃度のグ

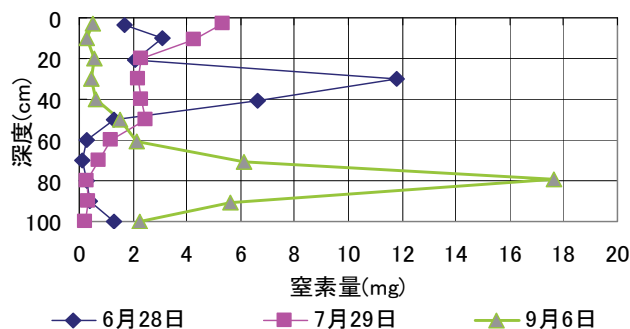


図-10 キャベツ・ニンジン畑の窒素量の分布

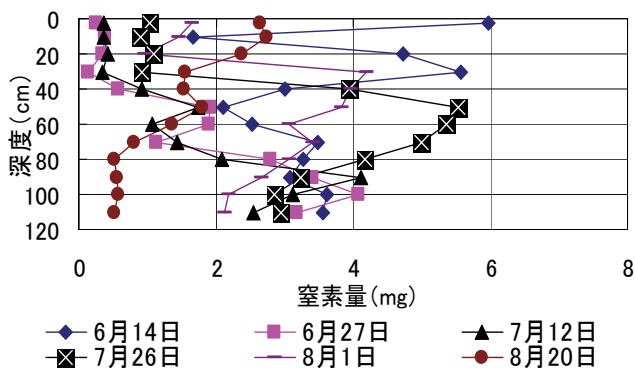


図-11 地点②における窒素量の分布

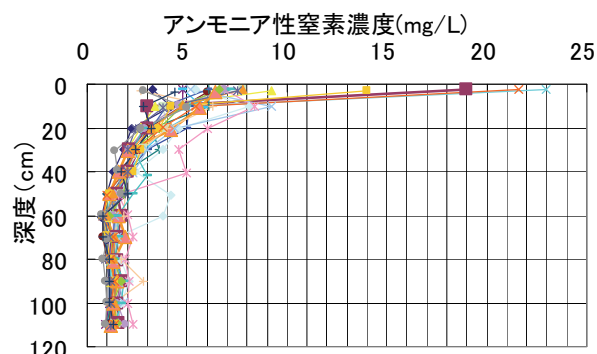


図-12 地点③における深度別アンモニア性窒素濃度

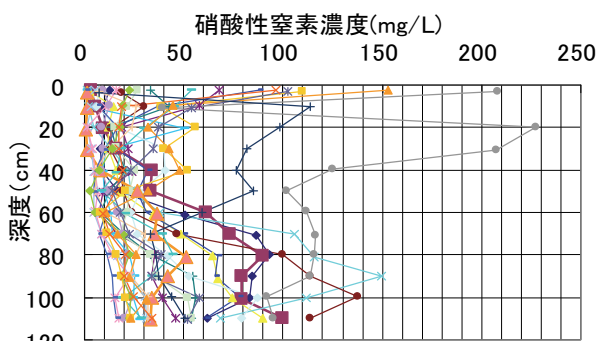
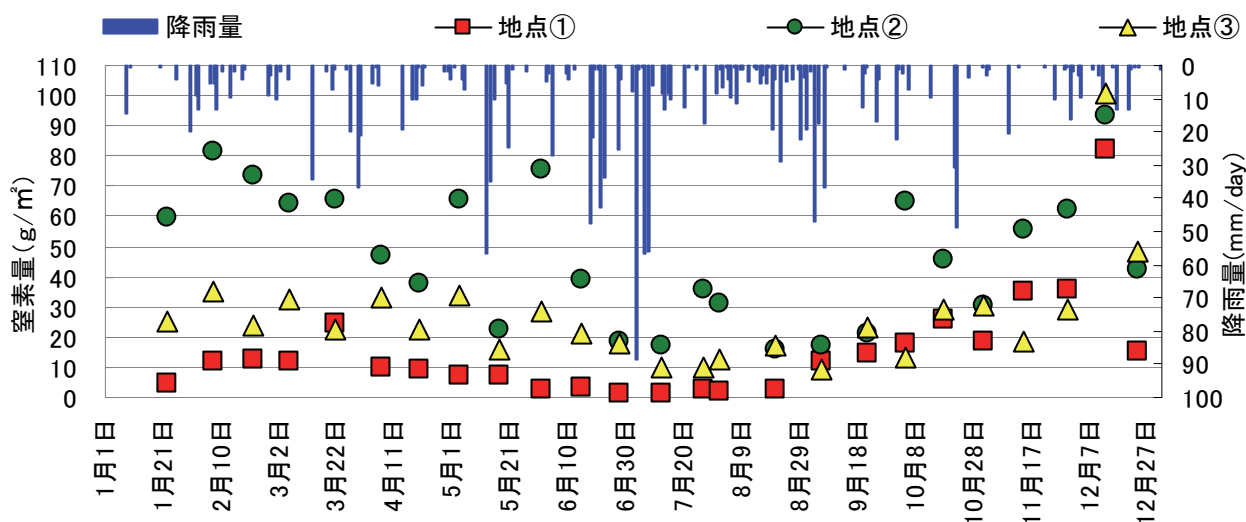
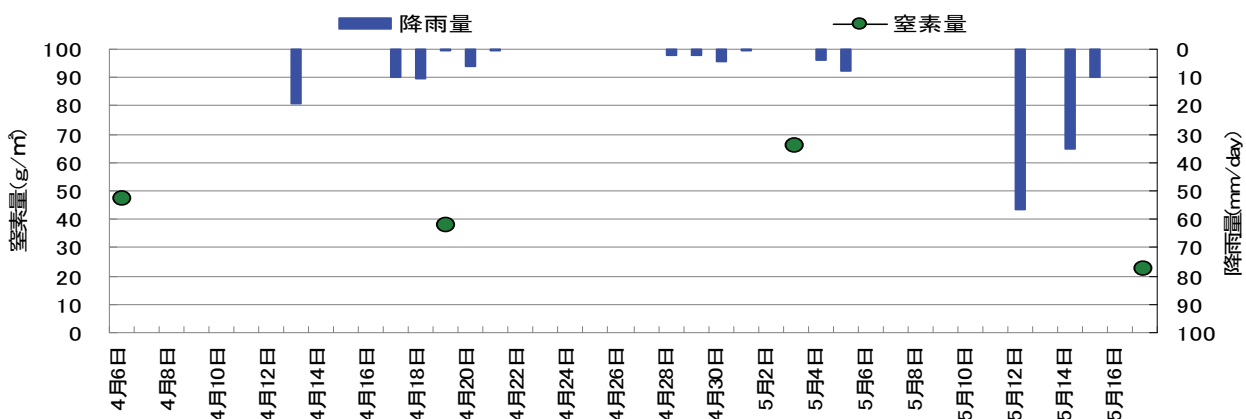


図-13 地点③における硝酸性窒素濃度



図—14 単位面積当たり、深度 110cm までの窒素量の変化



図—15 地点②における収穫されずに残った作物からの窒素の溶脱

ラフでは、変動はあるものの、表面付近の値が低く、深度が深くなるほど値が高くなっていることが分かる。表面付近でも高い値を検出している日があるが、表面付近で 100mg/L 以上の値を検出した日は全て、施肥後の 10 月以降であった。つまり、表面付近でも降雨が少ない時期には硝化が進むということがわかる。深度 60cm 以下では、アンモニア性窒素は 3mg/L 以下の値で推移し、硝酸性窒素は 10mg/L 以上の値で推移している事が分かる。熊本県の土壌診断基準に記載されている作土層の深度は 30cm であることから²⁾、60cm 以下ということは作物が吸収しきれなかった窒素が地下に溶脱しているということである。このことより、地下水に混入する窒素は硝酸性窒素の形態で混入するということと言える。また、地点①は、他の地点よりも窒素量が少なく、大きな変動は見られなかった。地点②は、地点③と同様、アンモニア性窒素は表面付近の値が高く、深度が深くなるほど値



写真—1 地点② 収穫されずにすき込まれるハクサイ

が低下するという傾向を示した。しかし、硝酸性窒素については地点③とは異なり、値の変動が激しく、深度に関係なく高い値が検出された。亜硝酸性窒素、リン酸態リンについても測定を行なったが、どちらも値がとても

低かった。

年間を通して採土・分析を行なったデータを用いて、各地点における単位面積当たり、深度 110cm までの窒素量を計算し、図化したのが図-14 である。地点①では、3月 21 日の観測時にタバコの作付けが確認された。図-14 では 3月 21 日の窒素量が増加している。これは 3月 21 日以前の作付け前の施肥によるものと考えられる。タバコは 7月 12 日頃から収穫され、8月 20 日には残った茎もすき込まれていた。窒素量が少ないせい、降雨による影響も少なく、作付けから収穫まで窒素量は緩やかな減少傾向だった。9月 21 日にニンジンの作付けが確認され、その後、窒素量は増加傾向であった。ニンジンの場合、作付けから約 1 ヶ月後の 10 月末に追肥が行なわれるため、増加傾向を示した。最後に採土を行なった 12月 23 日には収穫はされていないものの、周りの畑では次々に収穫が行われており、収穫間近だったと考えられ、窒素量は減少傾向であった。

地点②では、1月 22 日には既にハクサイが作付けされていた。その後、追肥が行なわれ窒素量が上がったものの、4月 19 日には収穫途中であった。作付けから収穫までの間、降雨はあるが極端に窒素量が低下することなく、ほぼ一定の割合で減少傾向であった。5月 31 日の窒素量が増加した理由は、収穫・出荷されずにすき込まれたハクサイが原因である事、降雨量が少なく窒素が地下に浸透されずに残った事等が考えられる。4月 6 日から 4月 19 日の間に収穫が行われ、この間では約 10g/m²減少している。その後の 5月 3 日には耕起もされておらず、約 25 g/m²増加している。この期間の窒素量と降雨量の推移を図-15 に示す。写真-1 は収穫されずにすき込まれたハクサイの写真である。写真を見て分かる通り、かなりの量のハクサイが畑地に放置されている。図-16 は 5月 3 日の深度別の硝酸性窒素濃度のグラフである。グラフを見て分かる通り、表面で約 165mg/L という非常に高い値が検出された。ハクサイが収穫され、目視で施肥が行なわれていなかったことは確認が出来るため、収穫されずに残ったハクサイからの窒素放出と考えられる。また、深度 80cm でも高い値が確認できる。これは 4月 28 日～5月 1 日にかけて 9mm の降雨があったため、それまでに放出された窒素が深度 80cm まで浸透したのではないかと考えたが、未だ確認できていない。その後、5月 17 日までに 113mm の降雨があり、窒素量は約 40g/m²減少した。単純に 113mm の降雨が 40g/m²の窒素を浸透させたとして計算すると、約 354mg/L の濃度で浸透したということになる。熊本県地下水保全条例で定められている地下水質保全目標値は、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素においては 10mg/L²⁾ であることから、非常に高い

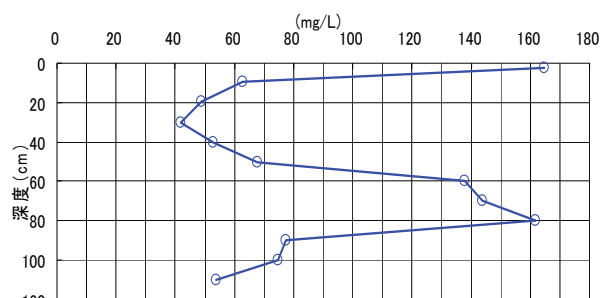


図-16 地点② 5月3日の深度別硝酸性窒素濃度



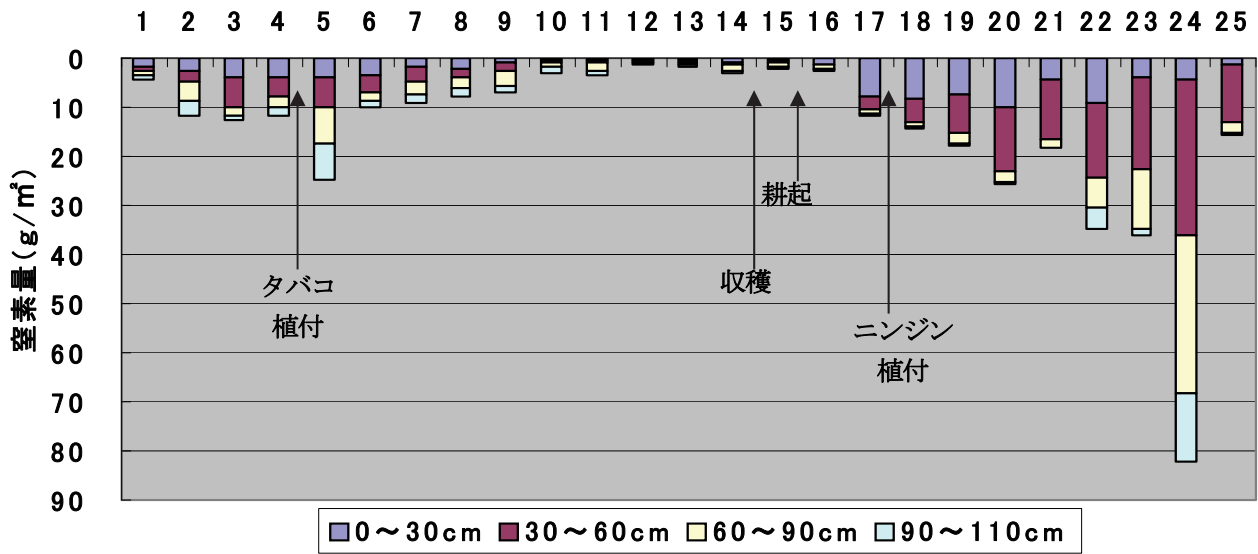
写真-2 地点②に持ち込まれた家畜糞尿発酵肥料



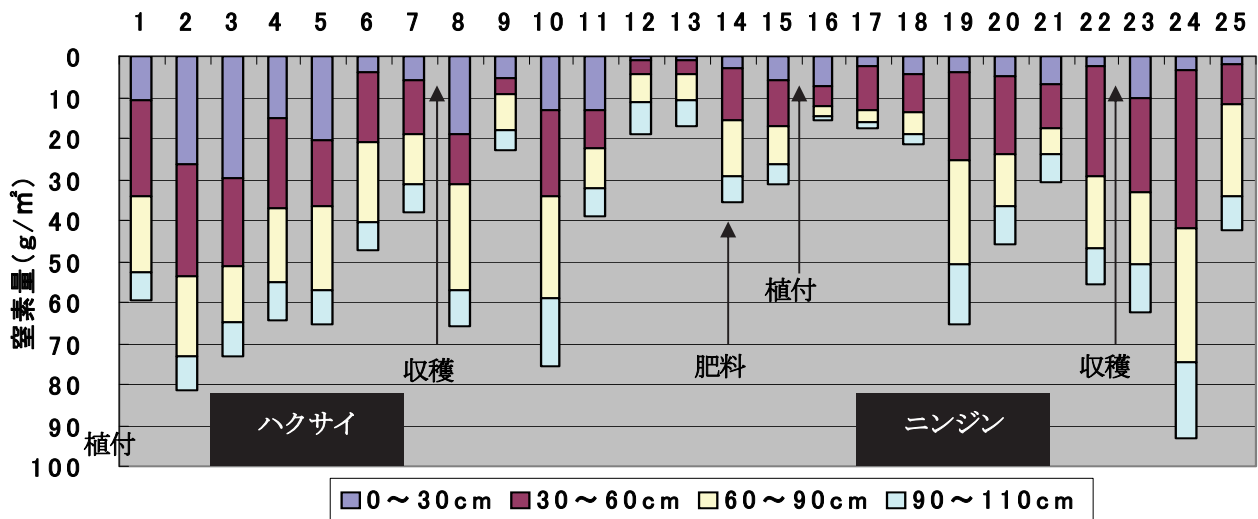
写真-3 地点③に撒かれていた家畜糞尿

値で浸透しているという事が分かる。しかし、このような計算方法では残留窒素等の考慮がされていないため、今後、室内実験によって、より詳しい窒素の移動に関する研究を行なう必要がある。その後 6月に梅雨に入って窒素量は減少した。これは、窒素の溶脱と考えられる。7月 12日から 7月 26日にかけて窒素量が増加している。この間で耕起が行なわれていたため、施肥が行なわれた事が考えられる。7月 26日の採土時にトラックにて家畜糞尿発酵肥料が持ち込まれ、8月 20日には耕起が完了し、9月 5日にはニンジンの芽が確認された。写真-2 は実際に持ち込まれた家畜糞尿発酵肥料の写真である。窒素量については、収穫が確認された 11月 29日まで増加傾向であった。

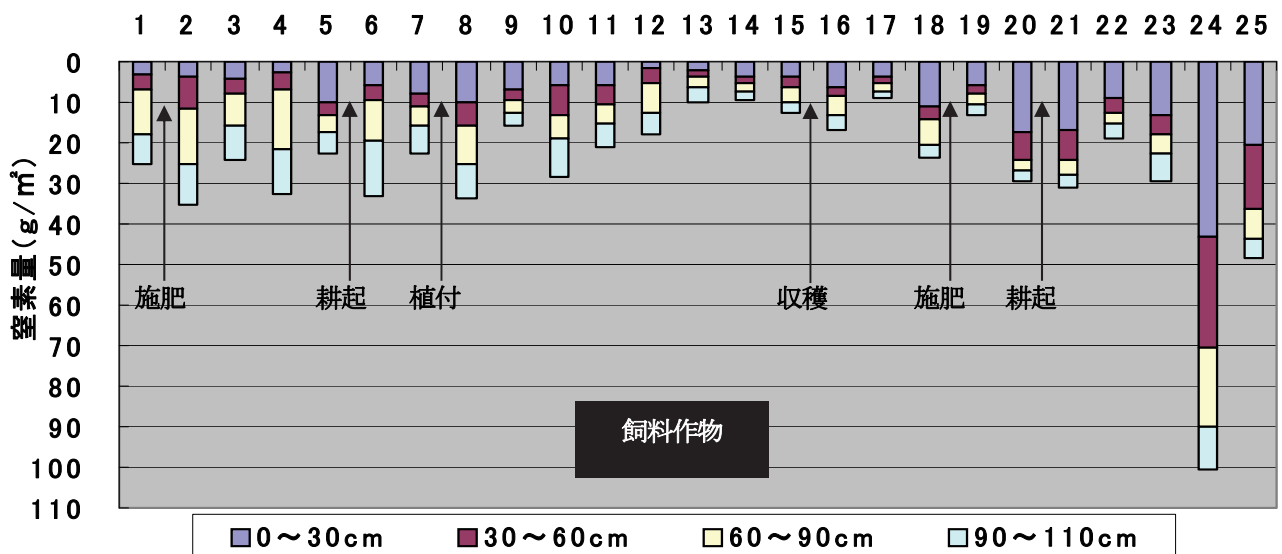
地点③では飼料作物（トウモロコシ）が栽培されていた。2月 7日に家畜糞尿を肥料として施肥していること



図一17 地点① 深度 30cm 間隔窒素量



図一18 地点② 深度 30cm 間隔窒素量



図一19 地点③ 深度 30cm 間隔窒素量

を確認した。その家畜糞尿の写真が写真—3である。降雨による影響はほぼ受けず、窒素量は増減を一定の値で繰り返していた。この理由は、撒かれた家畜糞尿が粉碎されたものではなく、固形の状態で畑に放置されていたため、一気に地下に溶け出すのではなく、固形肥料と同じようにゆっくりと溶脱を繰り返しているためではないかと考えられる。5月3日に作付けが確認され、8月20日に収穫が確認された。この間、窒素量は減少傾向にあったが、収穫間近で窒素量が若干であるが増加した。地点③で栽培されている飼料作物は家畜の餌として栽培されているものであり、作物の生育の繁茂期よりもすこし後に収穫される。実際に収穫される前の飼料作物の根元は枯れ始めていたことから、地点②のハクサイと同様に、枯れた植物から窒素が生成されているのではないかと考えられる。その後10月4日に家畜糞尿が撒かれているのが確認され、10月31日に残っていた飼料作物の茎と根、撒かれた家畜糞尿と一緒に耕起されていた。そのため窒素量は増加傾向を示している。

図—14の地点①で示した窒素量を30cm間隔に分けてグラフ化したものが図—17である。熊本県の土壌診断基準に記載されている作土層の深度である深度30cmに着目した²¹⁾。タバコが作付けされていた第5回の3月21日から15回の8月1日まで減少傾向であるが、作付けされ成長速度が著しい時期(第5~8回)には窒素量が減少傾向であっても、表面から深度30cmまでの窒素量はあまり変わらなかった。この地点の農家の方から、よく施肥をしているというお話を伺うことが出来たことから、表面から深度30cmまでの窒素量の値が変化しないことの理由が頻繁な施肥によるものと思われる。また、ニンジンが作付けされていた第18回の9月21日以降についても、窒素量は徐々に増加傾向であるが、表面から深度30cmについては増加傾向ではなく10g/m²以下の値であった。タバコの施肥基準量は10g/m²、ニンジンの施肥基準量は20g/m²であり、根の張ることの出来る深度30cmまでは、両方の作物において施肥基準量内となっていて、過剰施肥であることは考えにくい。

図—14の地点②で示した窒素量を30cm間隔に分けてグラフ化したものが図—18である。ハクサイの施肥基準量は25g/m²であり、第3回の2月27日では表面から深度30cmで施肥基準量を超えた値が検出された。その後収穫までは全体量も、表面から深度30cmの窒素量も減少傾向であった。また、残ったハクサイから窒素が生成されているのではないかとこの点に関しては、第8回の5月3日、第10回の5月31日の表面から深度30cmまでの値が前後の回に比べて高くなっていることから、収穫されずにすき込まれるハクサイから窒素が生成され

ているということが推定される。また、ニンジンが作付けされていた時期に関しては、窒素量は増加傾向にあるものの、表面から深度30cmの窒素量に大きな変化は見られなかった。しかし深度30~60cmの値の変動が大きいため、表面付近の窒素はすぐに30cmより以下に浸透している事が分かる。

図—14の地点③で示した窒素量を30cm間隔に分けてグラフ化したものが図—19である。飼料作物の施肥基準量は12g/m²である。第2回の2月7日に家畜糞尿が撒かれ、第6回の4月6日までの約2ヶ月間放置されていた。第7回の4月19日に耕起が確認された。第8回の5月3日に作付けが確認され、表面から深度30cmの値は約10g/m²であった。耕起を行なったことにより、固形肥料の役割を果たしていた家畜糞尿が粉碎され、外気に触れる表面積が増え、酸化が促されたことによって表面から深度30cmまでの窒素量が増えたのだと考えられる。その後、第16回の8月20日に収穫が確認された。飼料作物の場合、施肥は作付けされた後、収穫まで行なわれない。表面から深度30cmまでの窒素量で一番低い値を検出した第13回の7月13日は、植物の繁茂状況が最盛期であったため、植物の窒素吸収が活発だったと考えられる。その後、根元のほうから枯れ始めていたことから、第14回の7月26日から収穫が行なわれていた第16回の8月20日まで窒素吸収が衰え始めたことと、植物自身が枯れ始め窒素を生成したことによって値が徐々に高くなったと考えられる。第18回の9月21日の表面から深度30cmまでの窒素量が増えている。理由としては第17回に繁茂していた雑草が第18回には枯れていた事が原因であると考えられる。現場の状況から除草剤が撒かれた可能性が高く、枯れた雑草から窒素が生成したと考えられる。第21回の10月31日に収穫後残っていた茎と根、枯れた雑草、撒かれた家畜糞尿がすき込まれた。第24回の値は異常値であり測定ミスだと思われる。作物が作付けされていなかった第1回の1月22日~第7回の4月19日と、第17回の9月5日~第25回の12月23日を見比べてみると、表面から深度30cmの窒素量の値が第17回~第25回の方が高くなっている事が分かる。

以上の事から、畑地における過剰施肥が地下水の硝酸性窒素汚染を誘発する可能性が高いと言う事が明らかになった。したがって、現在行われている1回の土壌診断ではなく、土壌診断を頻繁に行って、土壌中の窒素量を細かく調べ、適正な施肥量とその時期を決める方策が必要であると考えられる。

5. まとめ

本研究では白川中流域、白水台地の畑地における窒素の鉛直分布の変化について知るために、2週間間隔で年間を通して採土、分析を行なった。その結果、以下のような結論を得た。

(1) 施肥直後の肥料は主にアンモニアとして存在しており、アンモニア性窒素の形では地下水に混入しにくいという事が、深度別アンモニア性窒素濃度の値より確認する事が出来た。アンモニア性窒素は亜硝酸性窒素、硝酸態窒素に好気条件下ではすぐに変化していた。つまり、地下水に混入する窒素の形態は硝酸性窒素であることが言える。

(2) 硝酸性窒素は水に溶けやすいという性質から、降雨による影響を非常に受けやすい事が分かった。浸透能力試験により、白水台地の畑地は高い浸透能を持っている事が明らかになったため、雨水に溶けた硝酸性窒素は地下に浸透しやすいということが言える。

(3) 家畜排泄物からも高い窒素量が検出された。家畜排泄物を基にした肥料の種類は今回の研究では、細かく粉碎され乾燥してある肥料と湿った固形状の肥料の2種類確認された。両方とも作物を作付ける前の準備期間に施肥が行なわれていた。固形状の肥料はゆっくりと溶脱を繰り返し、固形肥料と同じ役割を果たしている事が分かった。作付け準備期間に施肥される量は各作物によって異なるが、分析結果からは準備期間が長すぎることで、植物の養分として撒いた窒素は停滞することなく地下に浸透し続けているということが言える。

(4) サイズが規格外であったり、形が悪く収穫されずに残った作物や枯れた植物から窒素が流出することが分かった。その後の作物が作付けされるまで、植物による窒素吸収が行われないうえ、窒素は降雨によって溶脱し、地下に浸透していくと考えられる。

畑地における過剰施肥が地下水の硝酸性窒素汚染を誘発する可能性が高いという事が明らかになった。これらのことから、現在行われている1回の土壌診断ではなく、土壌診断を頻繁に行って、土壌中の窒素量を細かく調べ、適正な施肥量とその時期を決める方策が必要であると考えられる。

謝辞

本研究を実施するにあたり、圃場の提供に協力して頂いた、水土里ネット大菊および、快く提供していただいた圃場の所有者の方々に感謝の意を表す。

参考文献

1) 熊本県：熊本地域地下水総合保全管理計画、

http://www.pref.kumamoto.jp/kiji_574.html

(最終閲覧：2015年8月5日)。

- 2) 熊本市 (2014)：第二次熊本市地下水保全プラン。
- 3) 市川 勉 (2014)：熊本、白川中流域における湛水事業の10年、公益社団法人日本地下水学会 2014年秋季講演会講演予稿, pp.66~71.
- 4) 熊本市 (2010)：第2次熊本市硝酸性窒素削減計画, p.10.
- 5) 藤縄克之 (2010)：環境地下水学, p.222.
- 6) 農林水産省 HP：熊本県 熊本の野菜最新技術, http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/ (最終閲覧：2015年8月28日)。
- 7) 長谷川功・大場和彦・桃木徳博・小林義之・雁野勝宜 (1992)：南九州畑作台地及びその周辺における浅井戸の硝酸態窒素濃度,九州農業研究, 54, p.78.
- 8) 林弘道・堀純一・富樫均 (2006)：地下水汚染の予測・評価事例(実務編)―山間農村地域における地下水汚染の硝酸性窒素汚染事例―,環境アセスメント学会誌,4巻2号, pp.11~19.
- 9) 西尾隆・藤本堯夫 (1992)：畑土壌中の施肥アンモニア態窒素の硝化と移動に関するシミュレーション, 日本土壌肥料学雑誌,63巻4号, pp.428~435.
- 10) 技報堂・コロナ社 (1974)：土木学会監修土木用語辞典, p.526.
- 11) 三浦伸之・内村浩二・中村孝久・鳥山光昭・阿江教治 (2008)：茶園における有機質肥料の施肥量増加による窒素溶脱量の短絡的变化,茶業研究報告,106, pp.63~70.
- 12) 鈴木慶次郎・志賀弘行 (2004)：浸透水の硝酸性窒素濃度から見た網走地域の黒ボク土畑における投入窒素限界量,日本土壌肥料学雑誌,75巻1号, pp.45~52.
- 13) 松丸恒夫 (1997)：黒ボク土と砂質土における肥料窒素溶脱のライシメーター法による解析, 日本土壌肥料学雑誌,68巻4号, pp.423~429.
- 14) 前田守弘・田中正一・太田健 (2008)：土壌 pH および共存陰イオンが異なる黒ボク土における硝酸イオンの吸着と移動遅延,日本土壌肥料学雑誌,79巻4号, pp.353~357.
- 15) 中山千栄子・田中芳則 (2006)：火山灰土を用いたカラム試験から得られる硝酸態窒素の吸着特性,粘土科学,45巻第3号, pp.168~175.
- 16) 藤富慎一・末吉孝行 (2009)：秋冬作ホウレンソウ栽培における窒素溶脱に対する土壌の理化学的の影響, 日本土壌肥料学雑誌, 80巻1号, pp.23~29.
- 17) 松岡憲吾・波田善夫 (2008)：パックテストによる

簡易土壌養分分析法, *Naturaliste*, 12, pp.33~39.

- 18) 市川 勉 (2014) : 熊本、白川中流域における湛水事業の10年,公益社団法人日本地下水学会 2014年秋季講演会講演予稿, pp.66~71.
- 19) 吉井貴紀・市川勉 (2009) : 熊本地下水涵養域高遊原台地林地・畑地における浸透能と降雨涵養について,東海大学紀要,産業工学部 2 号.
- 20) 日本地下水学会編 (2001) : 21 世紀の地下水管理 雨水浸透・地下水涵養, pp.40~41.
- 21) 農林水産省 HP : 熊本県土壌診断基準,
http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/kum02.html (最終閲覧 : 2015 年 8 月 28 日) .
- 22) 熊本県 (2012) : 改正熊本県地下水保全条例, p.5.