

# 地下水位制御システムを活用した 泥炭水田における土壌養水分の動態

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 資源保全チーム ○新津 由紀  
石田 哲也  
清水 真理子

農地再編整備事業で導入した地下水位制御システムは、暗渠管の維持管理に加えて、土壌養水分を制御する活用法が考えられる。土壌窒素を制御することは、泥炭水田で積年の課題となっている米の高タンパク化の解消に貢献できる可能性がある。そこで、地下水位制御システムが整備された現地圃場で計測した土壌養水分の動態と米の低タンパク化の状況を報告する。

キーワード：地下水位制御システム、泥炭水田、土壌養水分

## 1. はじめに

暗渠管の堆泥除去等の維持管理のために給水機能を設備された暗渠排水システム（以下、地下水位制御システムという）は、圃場の地下から給水を行うことが可能であるため、水稻の直播栽培において、種籾の流動が抑制されたり、苗立ちが良くなるなど栽培上の効果も発揮されている。また、無効放流が少ないため用水の有効活用や水分の補給が圃場全体に均一であるなどの利点も多く、今後の普及が見込まれるシステムであり、多面的な利用も期待されている。

泥炭水田では、米の高タンパク化の傾向がみられる。泥炭地では、高タンパク化の原因となる、出穂期に近い時期の土壌由来窒素の発現を抑制することが難しいためと考えられる。

そこで、米の低タンパク化を図ることが可能となるような土壌中の水分・窒素成分の制御を、地下水位制御システムを利用した水管理で達成できる方法の開発を目的として、平成23年度から平成27年度までの5カ年で現地圃場調査を含めた研究を行っている。

本報では平成26年度までに行った現地調査の結果から土壌の養分・水分の動態と低タンパク化の達成状況を報告する。

## 2. 調査内容

### (1) 調査圃場と水稻栽培履歴

調査圃場は空知総合振興局管内の石狩川流域に発達していた原野を造成した水田地帯に位置しており、

平成21年度に大区画化を主要工種とする圃場整備工事が実施された隣接する二圃場で、試験圃場のC区と対照圃場のD区を設定した。

水稻の品種と栽培方法は両圃場で同一であるが、C区では地下水位制御システムを利用して低タンパク化を目的とした水管理（以下、低タンパク化対策という）を行った。低タンパク化対策とは、出穂期の約20日間に、短時日で給水と排水を反復する水管理方法で、その実施期間と給排水の間隔・反復回数を、栽培方法と共に表-1に示した。

表-1 水稻栽培方法と低タンパク化対策の履歴

| 年次  | 水稻栽培 |       | C区で実施した低タンパク化対策 |               |
|-----|------|-------|-----------------|---------------|
|     | 方法   | 品種    | 期間              | 給排水間隔と反復数     |
| H23 | 湛水直播 | ほしまる  | 8/9-8/24        | 48h給水24h排水×5回 |
| H24 | 移植   | ななつぼし | 7/28-8/16       | 48h給水48h排水×5回 |
| H25 | 乾田直播 | ほしまる  | 8/5-8/25        | 48h給水48h排水×5回 |
| H26 | 乾田直播 | 大地の星  | 8/6-8/24        | 24h給水48h排水×6回 |

### (2) 低タンパク化対策に期待しているメカニズム

水田土壌中の窒素の多くは、有機態窒素の形態で存在している。有機態窒素はそのままの形態では稲に吸収利用されず、土壌微生物によって無機態窒素（アンモニア態窒素や硝酸態窒素など）に分解されて初めて吸収利用される。このような土壌中での窒素の形態変化を図-1にイメージとして示した。

稲が吸収する窒素の由来や蓄積部位は生育時期により異なる。すなわち、発芽（移植）～幼穂形成期までの吸収窒素の80%は施肥由来窒素で茎葉の生長に使用され籾数増加に影響する。幼穂形成期以降の吸収窒

素の80%は土壌由来窒素で籾数・登熟への作用を通じて収量の決定に影響している。また、水稻の出穂期に近い時期(幼穂形成期一週間目以降)に吸収する窒素は米粒中への蓄積割合が高く、高タンパク化の原因となることがわかっている<sup>1)</sup>。

したがって、生育不良や収量減を回避しつつ良食味米を生産するためには、水稻の生育前半は十分な窒素を与え、生育後半の適正なタイミングで余剰分の窒素成分を排除するような肥培管理が求められる。加えて、アンモニア態窒素のような陽イオンは陰荷電している土粒子に吸着されており、洗脱は容易ではない。一方、硝酸態窒素のような陰イオンは土粒子に吸着されづらいため、洗脱は容易である。

このような土壌や養分成分の特性を勘案すると、土壌中の窒素成分を有機態窒素から硝酸態窒素に変化させ、水の給水排水を繰り返すことにより、洗脱させ、出穂期頃に土壌中の窒素を低下させることで低タンパク化させることが可能と考えられる。

C区で収穫された米粒のタンパク値がD区に比較して低下していれば、低タンパク化対策は有望な手法であると言えることになる。

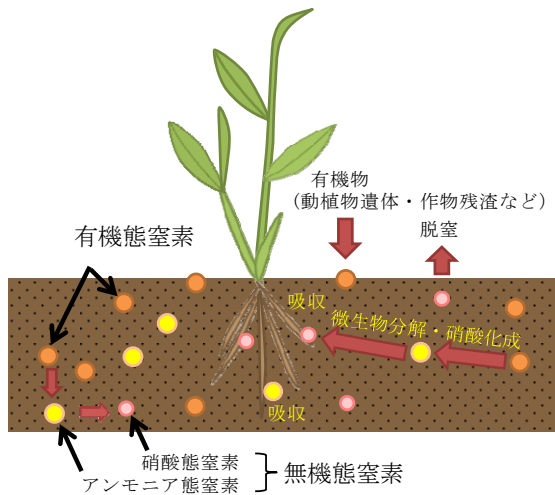


図-1 土壌中での窒素の形態変化のイメージ図

### (3) 調査圃場の土壌断面

調査圃場の標準的な土壌断面を図-2に示した。表層約20cmは客土が混和した作土層、その直下に約20cmの堅密な土層(基盤調整層で上部が鋤床化)で、その下に泥炭土層が出現する。鋤床の堅密度は代掻きを行う移植栽培では堅固だが、無代かきの乾田直播では著しくはない。また、心土破碎の効果の発現状況や亀裂の残存状況の影響で堅密度は均一ではなく、地下水の上昇や表面湛水の下方浸透に対して鋤床が隘路となっているが、その影響の度合いは様ではない。

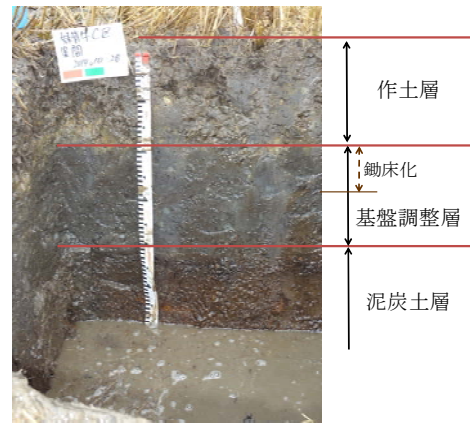


図-2 土壌断面標準図

### (4) 試料採取と観測

土壌と土中水に含まれる窒素成分を分析するために、図-3に示した定点で試料を採取した。土壌試料は各点で作土層と基盤調整層の上部約10cm(以下、下層土という)を、土中水は観測機材設置箇所(ポラスカップ製の土中水採取器具を10, 20, 30, 40, 60, 80cmの深さに埋設しておいて採水した。米粒は耕作者の収穫作業前日に土壌試料採取地点近傍の株を採取して乾燥脱穀した。

自記式のテンソメータを暗渠脇0.5m(以下、暗渠という)と渠間5.0m(以下、渠間という)の地点に10, 20, 30, 40, 60, 80cmの深度で埋設して土壌水分張力(pF)を観測した。

このような試料採取と観測は、平成24年度から統一した方法を継続しており、毎年の移植もしくは播種後から収穫10日前迄の期間に適宜実施した。

なお、水利基盤チームが観測した①圃場湛水位、②地下水位、③地下水位制御システム操作記録、更に、国交省が計測している大鳳川時間雨量も土壌中の水の動きを把握する参考とした。

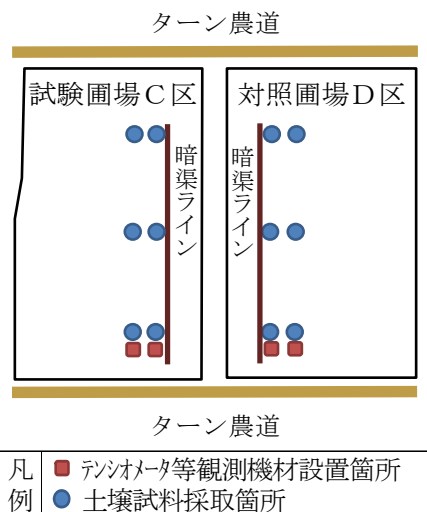


図-3 調査地点位置図

(5) 窒素成分の分析方法

採取した土壌、土中水、米粒の窒素成分は表-2に示した分析機器および手法で分析した。

表-2 土壌、土中水、米粒の窒素成分の分析方法

| 試料  | 分析項目     | 分析方法                            |
|-----|----------|---------------------------------|
| 土壌  | 全窒素      | CNコーダー                          |
|     | 無機態窒素    | 10%KCl抽出液にテハルタ合金を添加して水蒸気蒸留-中和滴定 |
|     | アンモニア態窒素 | 10%KCl抽出液を水蒸気蒸留-中和滴定            |
|     | 硝酸態窒素    | 無機態窒素とアンモニア態窒素の差                |
| 土中水 | 全窒素      | 紫外吸光度法(アルカリ性ヘルキソニ硫酸カルウム分解)      |
|     | アンモニア態窒素 | イオンロト法(分離カラムはCS22A)             |
|     | 硝酸態窒素    | イオンロト法(分離カラムはAS12)              |
| 米粒  | 全窒素      | CNコーダー                          |

3. 結果と考察

C区で低タンパク化対策を実施した期間に注目して、C区とD区での硝酸態窒素と土壌水分の変動を示す。

(1) 土壌中の硝酸態窒素の動態

硝酸態窒素に変化した土壌中の窒素成分を低タンパク化対策で洗脱することができていたのか否かを確認するために、年次ごとにCD区を対比させて硝酸態窒素含有量の動態を図-4~6に示した。

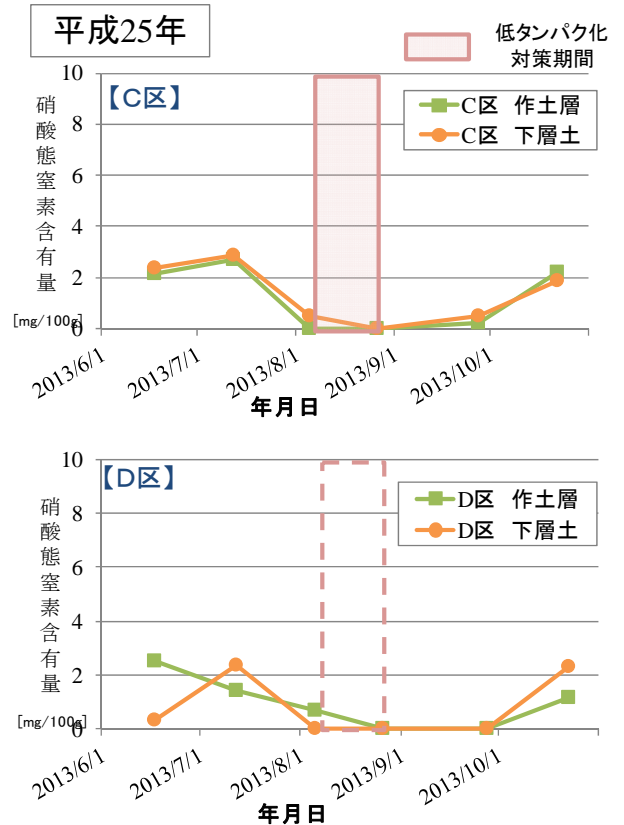


図-5 平成25年硝酸態窒素の動態

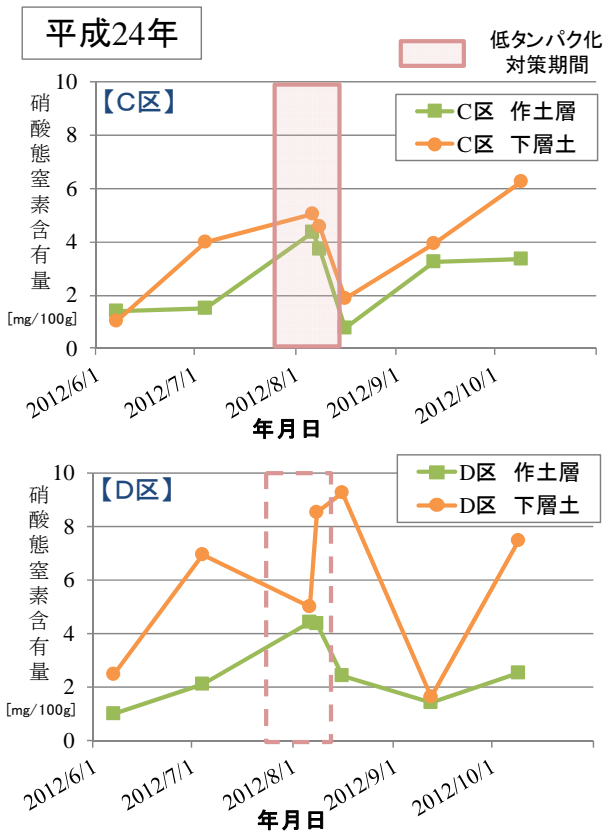


図-4 平成24年硝酸態窒素の動態

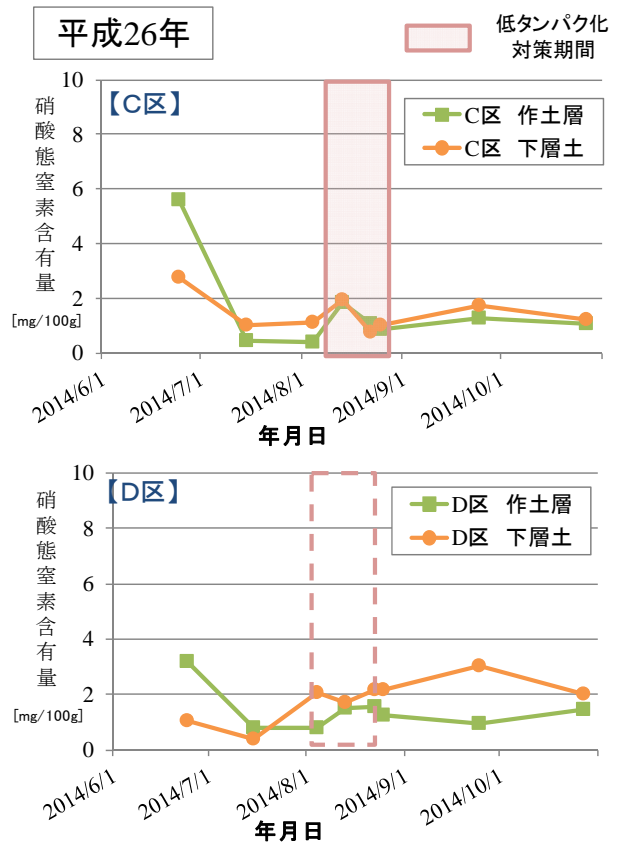


図-6 平成26年硝酸態窒素の動態

C区、D区ともに水稻による吸収利用は同様に生じているので、窒素含有量は低下するはずであり、かつ、C区での洗脱が効果的に生じていればD区より低下が大きいはずである。平成24年の動態は、この仮説に合致した変化と考えられるが、平成25、26年の動態では顕著な変化が見られなかった。低タンパク化対策による洗脱は生じてはいるが、大きな変化を發揮するには至っていないと考えられる。その原因として、地下水の昇降幅や土壌水分の変動が影響していると考えられる。

### (2) 土中水の硝酸態窒素の動態

土壌中の有機態窒素やアンモニア態窒素が硝酸態窒素に変化して地下水に取り込まれていなければ、低タンパク化対策による洗脱の効果は發揮されないこととなる。そこで土中水に取り込まれている硝酸態窒素の動態を確認した。平成25年は、硝酸態窒素が極微量しか検出されなかったため省略した。平成24年(図-7)および平成26年(図-8)では、低タンパク化対策の前半で増加し、その後、減少した状態が維持された。D区での動態に比べC区での動態は顕著であり、洗脱は生じていると考えられた。しかし、その濃度レベルは高くはなく、硝酸化成がうまく進めば、より大きな効果が發揮されることが期待される。

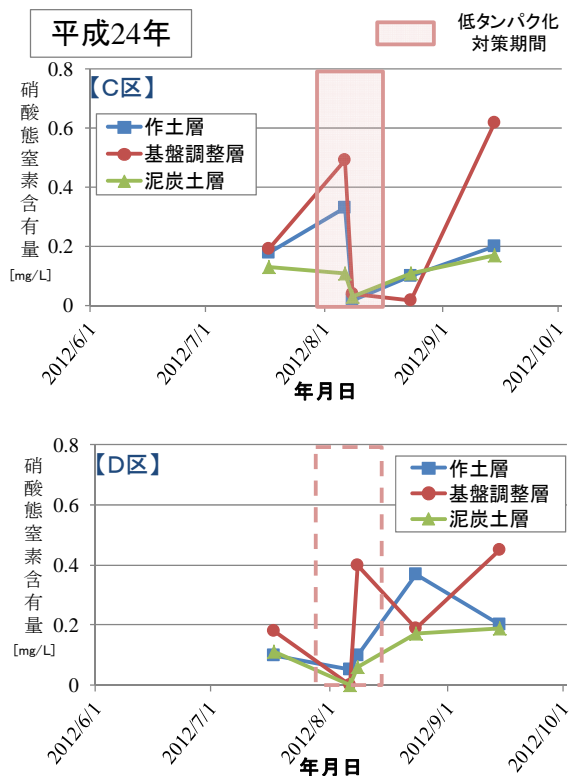


図-7 平成24年土中水硝酸態窒素の動態

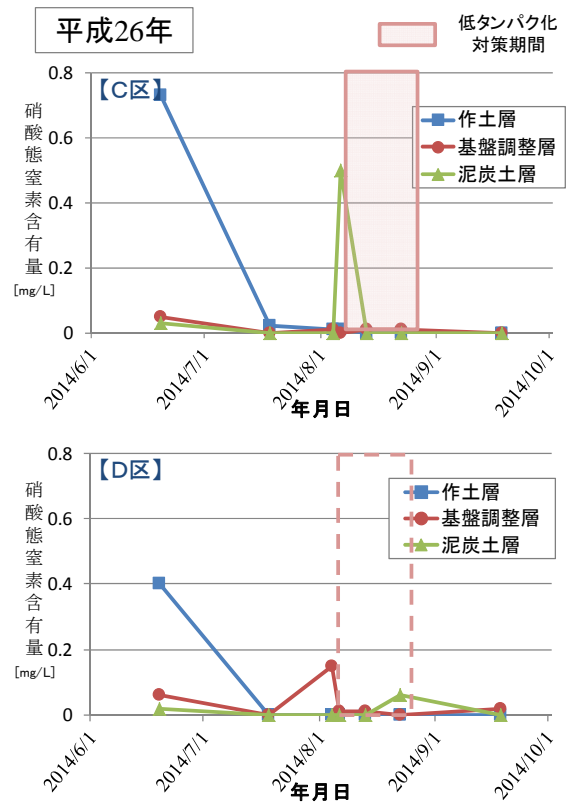


図-8 平成26年土中水硝酸態窒素の動態

### (3) 土壌pF

C区の平成24年の低タンパク化対策の給排水パターンと湛水位、地下水位、平成24年の深さ20cmと30cmのpF値を図-9に示した。また、平成25年の給排水パターンと湛水位、地下水位を図-10に示した。

排水のタイミングであっても湛水位が圃場面以下になることは無く、表面湛水と地下水の2段になっていることが示されている。平成24年の暗渠部に比べて、渠間部と平成25年においては暗渠部ですら、地下20cm程度にまでしか降下していない。このことは、地下水がいくら昇降したとしても作土層を洗脱した水の排水が不十分で洗脱の効果を抑制していると考えられる。

図-11、図-12は、土壌の孔隙分布の分析で作成しておいたpF-水分曲線を用いてpF値を体積含水率に換算し、地下水位との関係を示したものである。低タンパク化対策で、排水状態にして明らかに地下水位が下がったとしても、飽和時の含水率とほぼ同一の値であることが認められる。

これらのことから、試行した低タンパク化対策では、2日程度の排水期間を設けているが、土壌中の保水孔隙の水分交換や土壌中の粗大孔隙への空気侵入が不足していたため硝酸化成が促進されず、十分な窒素の洗脱に至っていないと考えられる。

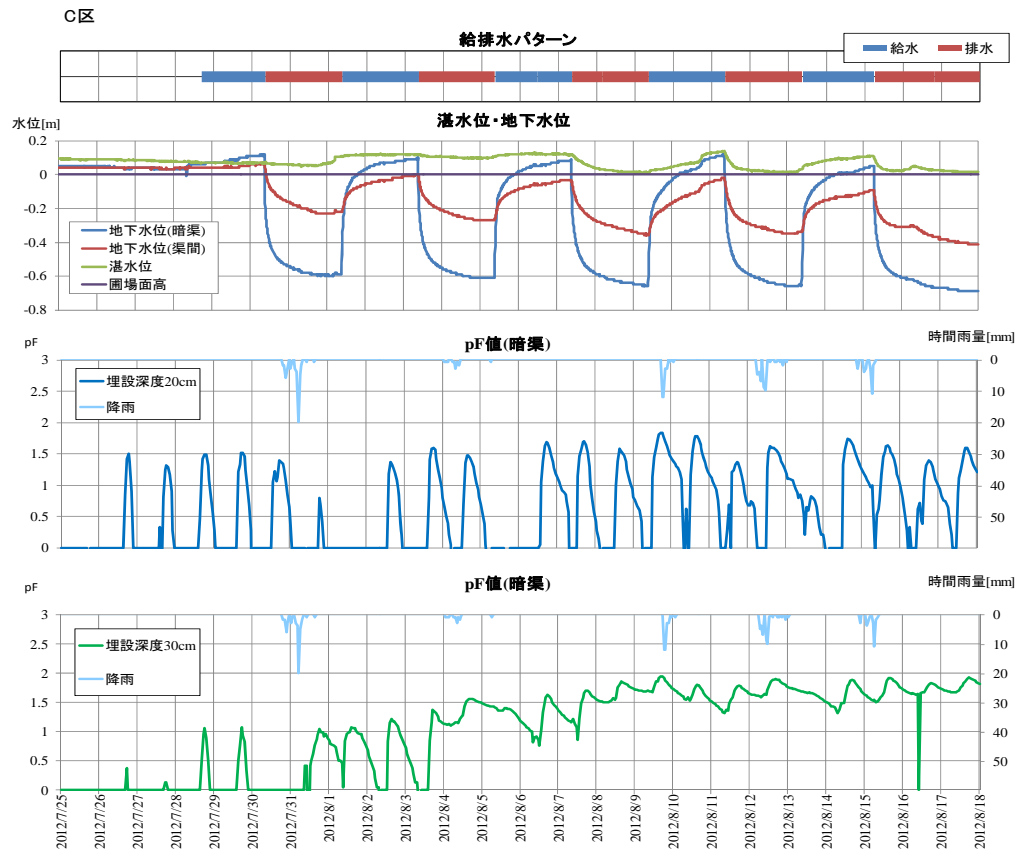


図-9 低タンパク化対策期間におけるpF値の動向及び湛水位観測結果(平成24年)

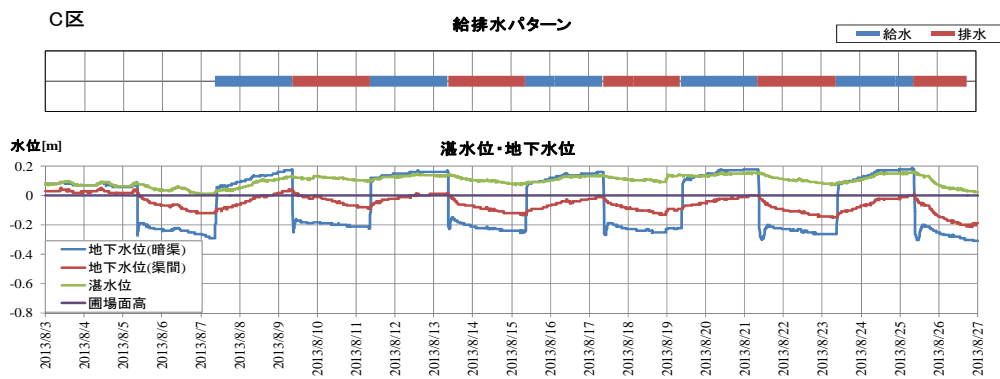


図-10 低タンパク対策期間における湛水位観測結果(平成 25 年)

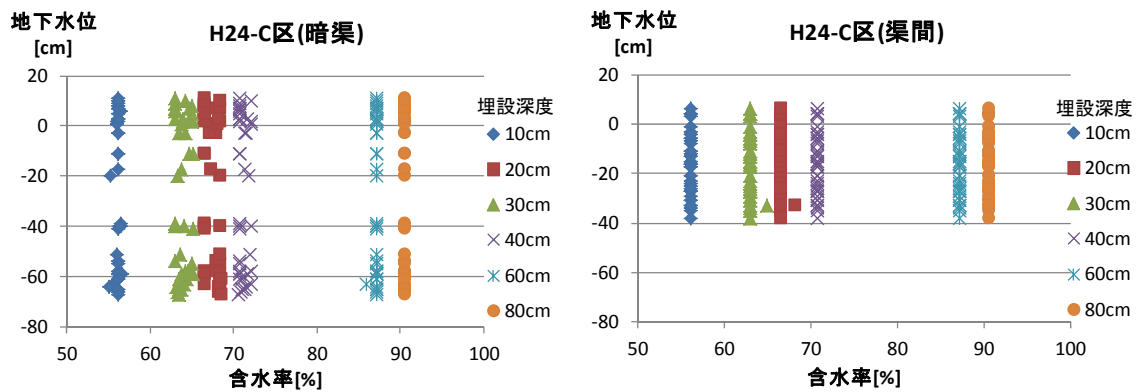


図-11 地下水位と土壌体積含水率(平成24年低タンパク化対策期間)



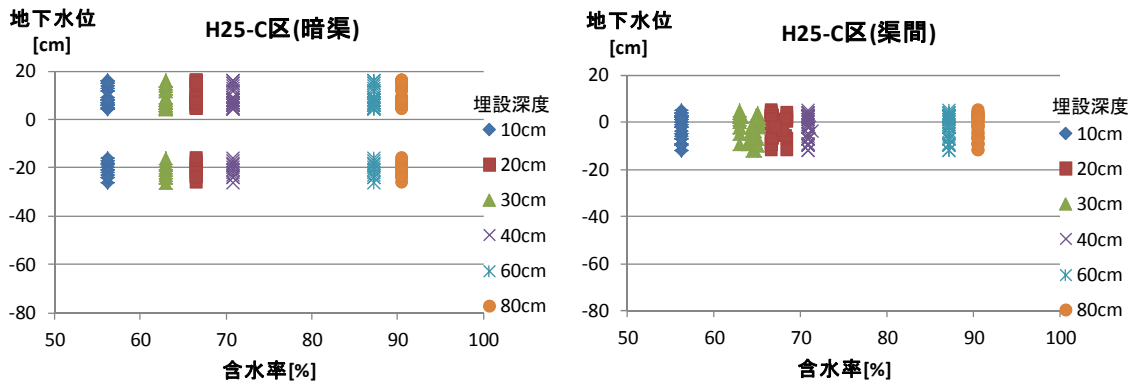


図-12 地下水位と土壌体積含水率(平成25年低タンパク化対策期間)

(4)米粒のタンパク含有率

調査圃場の米粒(玄米)のタンパク含有率を図-13に示した。出荷基準では精米のタンパク含有率に応じて、6.9%未満=低タンパク米、6.9~7.9%=一般米、7.9%を超えると高タンパク米とされている<sup>2)</sup>。調査圃場の玄米のタンパク含有率は精米に比較して0.9%程度高いという分析結果を得ているので、精米基準に0.9%を加算した玄米での基準に相当する基準線を赤線と青線で記入した。赤線より低ければ低タンパク米、赤線と青線の間であれば一般米、青線より高ければ高タンパク米と考えられる。各年共、低タンパク化対策を行ったC区がD区に比較して米粒のタンパク含有率は低くなっていることが確認できた。品種や肥培管理は同一であるから、この差は低タンパク化対策の効果と考えることができる。しかし、栽培年次や水稻栽培方法による差異があると同時に、低タンパク米のレベルに達することは出来ていない。

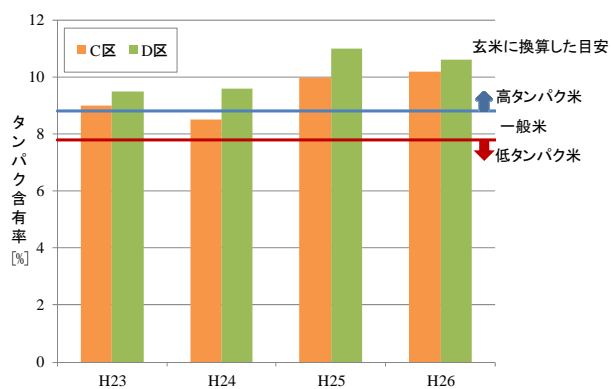


図-13 米粒(玄米)のタンパク含有率

4. まとめと今後の課題

- ① 土壤中の硝酸態窒素は土壌分析および土中水分析の結果から、低タンパク化対策で洗脱できていると評価できる結果が得られた。しかし、低タンパク米のレベルに達せしめるほどに余剰窒素を排除する状態にはなっていなかった。
- ② 米粒のタンパク含有率は低タンパク化対策の実施で低下する傾向にあることが認められた。しかし、低タンパク米のレベルには達していない。
- ③ 地下水が暗渠埋設深近くまで下がったとしても、表層土の水分は大きく変動はせず、pF1.8を上回ることはなかった。

以上のことから、窒素の洗脱が十分に進行していないことの原因として、土壌の含水率が高く、硝酸化成菌等の微生物に必要な酸素の欠乏や、硝酸態窒素を取り込んだ土中水を効果的に排出できていないことが考えられる。

今後は、室内試験により、現場圃場に適した効果的な給排水方法の再確認を行う。同時に、泥炭等からの窒素成分供給状況や分解過程について、詳細に分析を進めることにより、米の低タンパク化技術を実現化させていくように研究を進めたい。

5. 参考文献

- 1) 北海道農政部：低蛋白米生産をめざした水田土壌窒素診断の手引き、平成10年8月
- 2) 北海道米麦改良協会：北海道の米づくり[2011年版]、2011年6月