

平成23年度

# 地下灌漑を伴う泥炭水田輪作圃場における 土壌養分制御技術に関する研究（第1報）

（独）土木研究所寒地土木研究所 資源保全チーム

○岡村 裕紀  
石田 哲也  
大岸 譲

地下灌漑では、土壌中の水分制御や養分供給の方法が必ずしも確立されておらず、土壌水分・養分の動態を解明し、地下灌漑水の作物生育ステージ別の水位管理による土壌養分制御技術を確立する必要がある。

当チームは、北海道開発局農業水産部が実施している「高生産性水田輪作システム実証調査」において大区画水田に整備された新しい利水方式である地下灌漑システムの高度な利用を目指す調査に H23 年度より加わった。研究の主眼は、地下灌漑システムを利用した土壌水分・養分の制御技術を泥炭水田輪作体系と環境調和型農地利用の両面から探究するものである。本報では、調査概要と初年度の成果を第1報として報告する。

キーワード：地下灌漑、大区画水田、泥炭地農地、土壌養水分

## 1. はじめに

北海道農業は、我が国における食の供給源として大きな役割を担っている。だが、今後は、農家数の激減が予想される。このために、戸当たり 30ha 以上の大型化された経営への変革が喫緊の課題であり、その実現には、地下灌漑などの省力的な水利用と管理の実行および田畑輪換による省力的な土地利用が食糧の安定供給に必要とされる。

北海道開発局でもこの変化に対応するため、国営事業により圃場の大区画化、地下灌漑施設の導入を進めつつある。また、国が策定した「地球環境時代を先導する新たな北海道総合開発計画」<sup>1)</sup>では「地球環境時代を先導し、自然と共生する持続可能な地域社会の形成」が謳われおり、環境に配慮した営農技術の確立も重要な課題であり、地下灌漑システムの貢献が期待される。

しかし、地下灌漑では従来の地表灌漑と異なり、土壌中の水分制御や養分供給の方法が必ずしも確立されておらず、地下灌漑中の土壌水分・養分の動態を解明し、地下灌漑圃場における地下灌漑水の作物生育ステージ別の水位管理による土壌養分制御技術を確認し、環境調和型の農地利用システムの実現を図らなければならない。

そのために、北海道開発局農業水産部による大区画水田に整備された地下灌漑システムの高度な利用を目指す「高生産性水田輪作システム実証調査」が実施されており、著者らはこの調査に加わって研究を開始した。第1報を報告する。

## 2. 調査地区概要

調査地区は、北海道空知総合振興局管内に位置し（図-1）、石狩川支流の雨竜川の左岸に拓けた泥炭土壌の水田地帯である。土壌中に腐植物質を多く含む泥炭は、潜在的な地力が高いが、水稻の生育後期においても窒素を過剰に放出するため、米のタンパク質含有率が上昇し、食味が低下してしまう問題がある。調査地区は、圃場整備事業が進められおり、水稻栽培では、地下灌漑システムを利用することにより、省力化のみならず、低タンパク米の生産が安定することも期待されている。

地下灌漑機能をもつ地下水位制御システム（図-2）は、従来開水路であった用・排水路を圃場整備に合わせてパイプライン化すると同時に、耕区毎に取水を行う管理ユニットと地下水位調整を行う水こう（水位調整型）を設置し用水路、暗渠排水管及び排水路を連結させることで、自然圧で水田への給水・排水・水位管理等の水管理作業及び地下水位管理が可能である。また、本システムは、暗渠排水管のフラッシング（洗浄）の機能も有しており、暗渠排水の機能維持・保全にも有効であり、施設の長寿命化に貢献する。

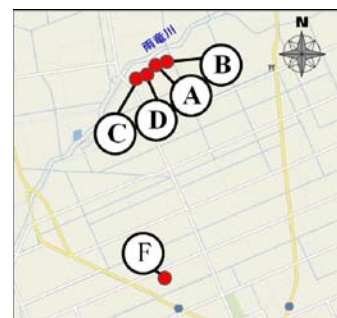


図-1 調査地区位置図（調査圃場 A, B, C, D, F）

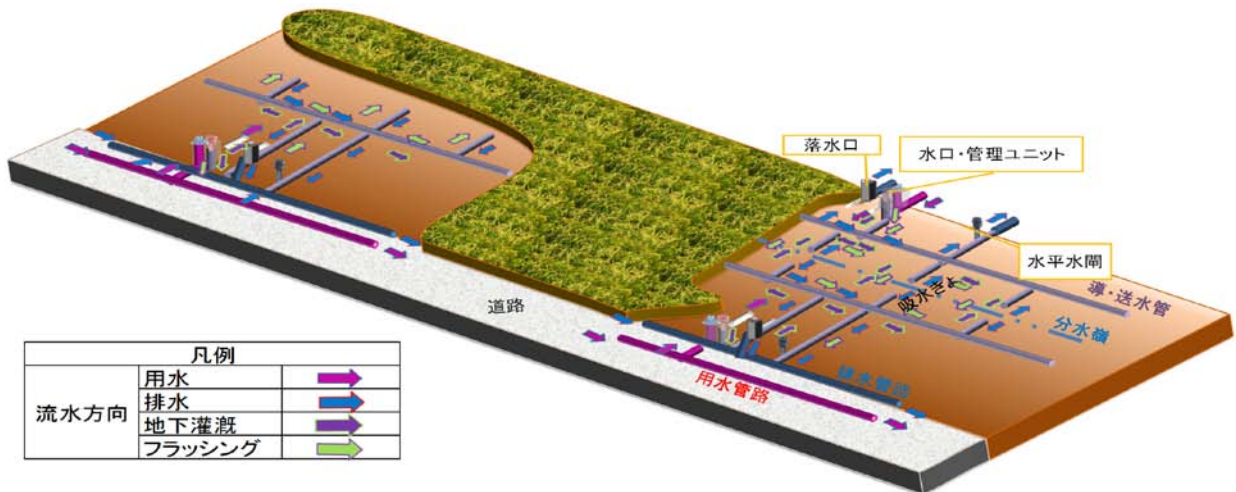


図-2 地下水位制御圃場イメージ図

### 3. 研究概要

研究期間は、2011年度から2015年度の5カ年を予定している。研究項目を以下の三項目に分け、各種計測機器（地下水位計、テンシオメータ、Ehメータ等）による観測データや土壌分析、土中水分析により、研究目標の達成を目指す。

- ① 地下灌漑を伴う泥炭水田輪作圃場における土壌水分・土壌養分の動態解明と評価基準の提案
  - ・地下灌漑を伴う泥炭水田輪作圃場の各種作物栽培時における土壌水分・土壌養分の動態のモニタリングによりこれらの動態の特徴を解明する。
  - ・土壌水分・土壌養分の評価基準を作成し、これらの動態が栽培作物に適切かどうか農家に判定が可能なように要約する。
- ② 地下灌漑を伴う泥炭水田輪作圃場における土壌養分制御技術の開発
  - ・解明された土壌水分・土壌養分の動態を対照し、各作物における土壌養分制御技術を開発する。
  - ・土壌養分制御技術の開発により、栽培作物根圏における適正な土壌養分環境の構築が可能なようにする。

- ③ 地下灌漑を伴う泥炭水田輪作圃場における土壌養水分管理スキルの提供
  - ・「地下灌漑を伴う泥炭水田輪作圃場における土壌養分制御技術に関するマニュアル」を作成し、農家に提供することにより、このような圃場における適正かつ省力的な作物栽培が可能なスキルを農家に提供する。

### 4. 調査内容

2011年度の調査は、図-1に示したA, B, C, D, Fの5圃場で行った。整備済みの圃場A, B, C, D区、対照区として未整備のF区である。各区の整備状況を表-1、調査内容を表-2、分析内容を表-3に、観測機材および調査作業位置図を、図-3に示す。なお、温室効果ガス分析に関しては、2011年度は機器の準備はしたものの作業実施に至らなかった。

表-1 試験圃場整備状況

	H23利用状況	整備状況
A区	水稻[代掻き+移植]→秋播小麦	大区画化・圃場整備済
B区	初冬播小麦→秋播小麦	大区画化・圃場整備済
C区	水稻[代掻き+直播、低タンパク対策実施]	大区画化・圃場整備済
D区	水稻[代掻き+直播、低タンパク対策非実施]	大区画化・圃場整備済
F区	初冬播小麦→秋播小麦	未整備

表-2 調査内容

調査項目	対象区	内容	採取試料			
			攪乱土 (化学性分析用)	100ml採土管 (三相比、飽和透水性用)	50ml採土管 (孔隙分布用)	土中水 (化学性分析用)
1 土壌断面調査	A, B, C, D	暗渠脇と暗渠中間の2カ所で深さ1m以上の試掘で土壌構成等の調査と土壌試料採取	40個	3層/土層×5層/地点×2地点/区×4区=120個	2層/土層×5層/地点×2地点/区×4区=80個	—
	F	任意の1カ所で深さ1m以上の試掘で土壌構成等の調査と土壌試料採取	5個	3層/土層×5層/地点×1地点/区×1区=15個	2層/土層×5層/地点×1地点/区×1区=10個	—
2 試穿調査	A, B, C, D, F	各圃場任意の10地点で表土と下層土の厚層分布の調査と土壌試料採取	100個	1層/土層×2層/地点×10地点/区×5区=100個	—	—
3 低タンパク対策地下灌漑前後での土壌試料および土中水採取	A, C, D	低タンパク対策のための地下灌漑実施前：7/29と実施後：9/13に表土と下層土の土壌を採取。同時にテンシメータと同じ深度に設置した採水器で土中水を採取	12個	—	—	1層/深度×6深度/地点×2地点/区×3区=36個
4 土壌水分張力観測	A, B, C, D	暗渠脇と暗渠中間の2カ所で6深度(10, 20, 30, 40, 60, 80cm)にテンシカプを埋設し、水分張力を自動観測記録。水分張力を含水比に換算するための孔隙分布分析試料も代表断面調査時に採取	—	—	2層/深度×6深度/地点×1地点/区×4区=48個	—
5 土壌Eh観測	A, B, C, D	表土と下層土にEhセンサーを埋設して、自動観測記録	—	—	—	—
合計			157個	235個	138個	36個

表-3 分析内容

分析項目	進捗状況			
	(○:終了 △:年度内終了予定 ×:実施できず -:該当なし)			
	代表断面試料	試穿調査試料	低タンパク対策前後試料	
土壌理化学性分析	pH(H <sub>2</sub> O)	○	—	○
	pH(KCl)	○	—	○
	灼熱損失	○	—	○
	全炭素	○	○	○
	全窒素	○	○	○
	有効態窒素(7>E-7態)	○	—	○
	有効態窒素(硝酸態)	○	—	○
	可給態窒素(7>E-7態)	○	—	○
	可給態窒素(硝酸態)	○	—	○
	全リン	○	—	○
	可給態リン酸	○	—	○
	塩基交換容量(CEC)	○	—	○
	交換性Ca	○	—	○
	交換性Mg	○	—	○
	交換性K	○	—	○
	全鉄	○	—	○
	遊離酸化鉄	○	—	○
	可給態ケイ酸	○	—	○
	粒径組成	○	○	—
	三相比	○	○	—
容積重	○	○	—	
孔隙分布	○	—	—	
飽和透水係数	△	—	—	
土中水分分析	全窒素	—	—	△
	7>E-7態窒素	—	—	△
	硝酸態窒素	—	—	△
	水溶性Ca	—	—	△
	水溶性K	—	—	△
ガス分析	メタン	—	×	—
	亜酸化窒素	—	×	—
土壌水分張力データ解析	—	—	△	
土壌Ehデータ解析	—	—	△	

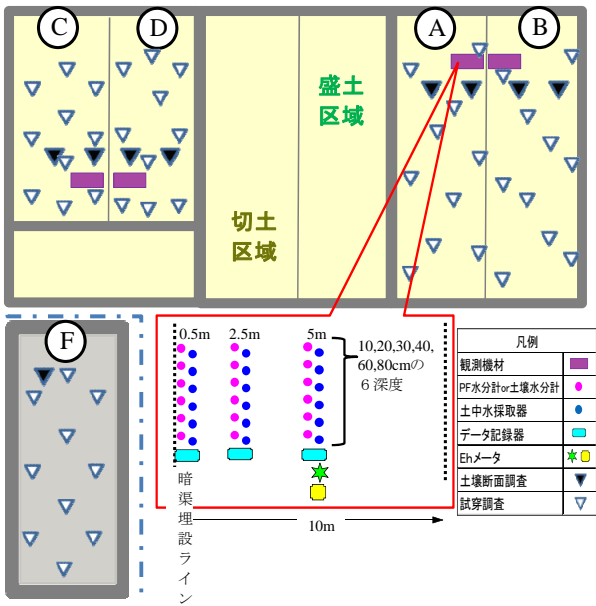


図-3 観測機材および調査作業位置図

5. 結果および考察

(1) 土壌断面調査

図-3に▼印で示した地点で深さ1m程度の試掘による土壌断面調査を実施し、土層構成を確認した。整備済み圃場の代表としてA区、未整備圃場であるF区の土壌断面の写真と柱状図を図-4~図-6に示す。

整備済み圃場(A, B, C, D区)の基本的な土層構成は、客土

Yuki Okamura, Tetsuya Ishida, Yuzuru Oogishi

土壌断面観測結果

調査日:平成23年 5月10日

調査地点:A圃場 暗渠脇

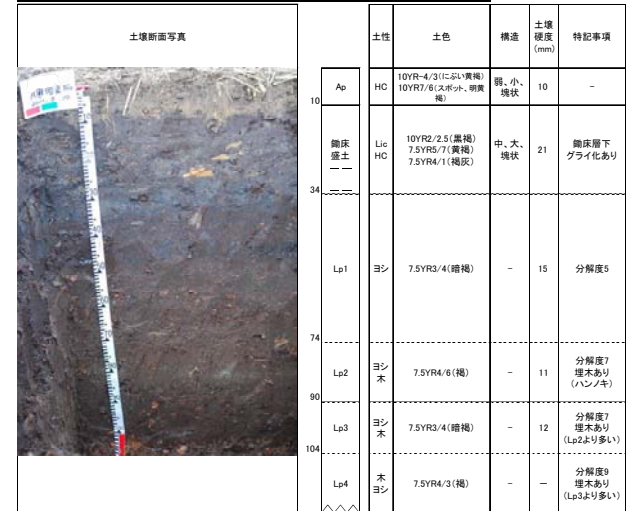


図-4 土壌断面写真および柱状図 (A区暗渠脇)

土壌断面観測結果

平成23年 5月10日

A圃場 渠間

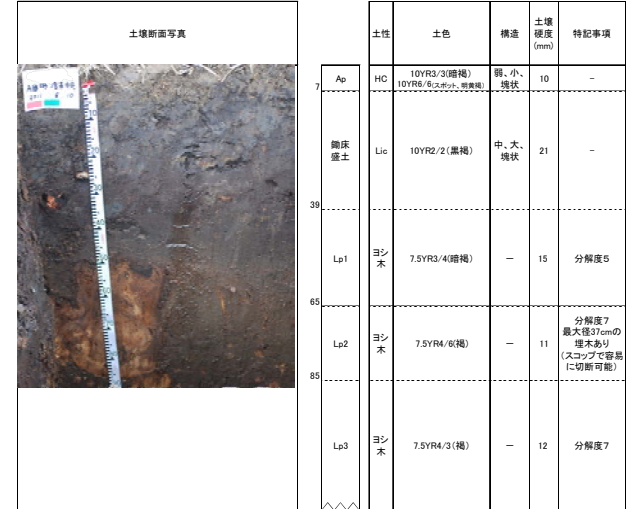


図-5 土壌断面写真および柱状図 (A区渠間)

土壌断面観測結果

調査日:平成23年 8月24日

調査地点:F圃場



図-6 土壌断面写真および柱状図 (F区)

／鋤床および調整盛土層(従前の表土)／泥炭土という構成で大きな差がみられず、共通していた。

泥炭土が出現する深さは概ね 30cm 以下であった。しかし、泥炭土が 50cm 以下から出現する地点もあり、表土+下層土の厚さはバラつきがみられた。いずれにしても、作物の根群は主として鉍質土に繁茂しているといえた。

未整備圃場(F区)では泥炭土層が極めて薄く、基底粘土層が厚い。このことは、整備済圃場が位置している区域の土層構成と大きく異なっており、水分挙動や作物収量の対比にあたって注意が必要である。

## (2) 試穿調査

図-3に▽で示した位置で試穿調査により表土と下層土の層厚を確認するとともに土壌試料を採取した。

各層厚を表-4に示した。表土の厚さは約 10cm で、B区でやや厚い傾向はあるが、試験区間の差は小さい。一方、下層土の層厚は、A,B区で約 25cm、C,D区で約 34cmと、CD区で厚い傾向にある。

## (3) 土壌分析

### a) 全炭素・全窒素の相関

土壌断面調査、試穿調査で採取した土壌試料の分析結

表-4 試穿調査による層厚計測結果

地点番号	A区		B区		C区		D区		F区		A, C, D区 水田 客土層	B, F区 小麦 作土層
	表土	下層土	表土	下層土	表土	下層土	表土	下層土	表土	下層土		
1	10	29	19	33	8	40	8	33	10	15		
2	10	26	11	25	7	36	7	33	7	25		
3	9	29	14	29	3	39	8	29	12	16		
4	8	22	17	21	6	40	5	33	10	15		
5	13	10	16	25	10	40	8	40	10	14		
6	7	35	18	17	12	29	7	37	8	15		
7	16	19	9	24	8	39	8	36	9	15		
8	15	30	15	24	10	35	7	31	13	6		
9	13	29	9	26	8	28	10	29	10	17		
10	10	30	11	23	10	35	8	27	10	14		
平均	11	25	14	25	8	39	8	32	10	15		
整土部平均	10	27	15	24	8	39	7	33	-	-		
切土部平均	13	22	12	25	-	-	8	32	-	-		

※緑色着色は盛土部、黄色着色は切土部の層厚

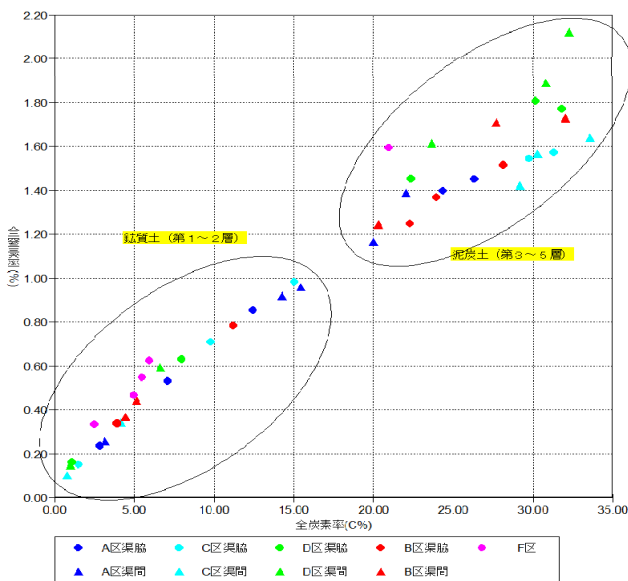


図-7 断面調査土壌の全炭素率と全窒素率の相関

果のうち、全炭素率と全窒素率を散布図でそれぞれ図-7、図-8に示した。

土壌断面調査採取試料では、全炭素率が 20%を超える泥炭土(亜泥炭を含む)のグループと鉍質土のグループに分離された(図-7)。

試穿調査採取試料では、F区で全炭素率、全窒素率ともに圃場内でのバラツキが極めて小さく、ほぼ一点に収束している。それに比べるとA,B,C,D区では圃場内でのバラツキが大きくみられた。A,B,C,D区の中でも水稻作付のA,C,D区に比べ、小麦作付のB区は収束の傾向がみられた(図-8)。

全炭素率と全窒素率の比である、CN比の平均値等を表-5に示した。

土壌断面調査採取試料では、鉍質土グループのCN比は7~13で平均値は10、泥炭土グループは13~21で平均値は17と計算された。炭素含有量=有機物含有量が多いほど窒素含有量が多いことが明らかに示された。

試穿調査採取試料では、散布図から収束がみられたF区でCN比が約12であった。圃場内でバラツキがみられたA,B,C,D区であったがCN比は6~16の範囲内で、最頻値は11であった。

### b) 潜在的窒素供給能力

有効態窒素(土壌試料を採取した時点で既に無機化していた窒素成分(いわゆる初期値))と可給態窒素(採取した土壌を30°C4週間培養した時点で無機化している窒素成分)の差分(いわゆる培養増量)す

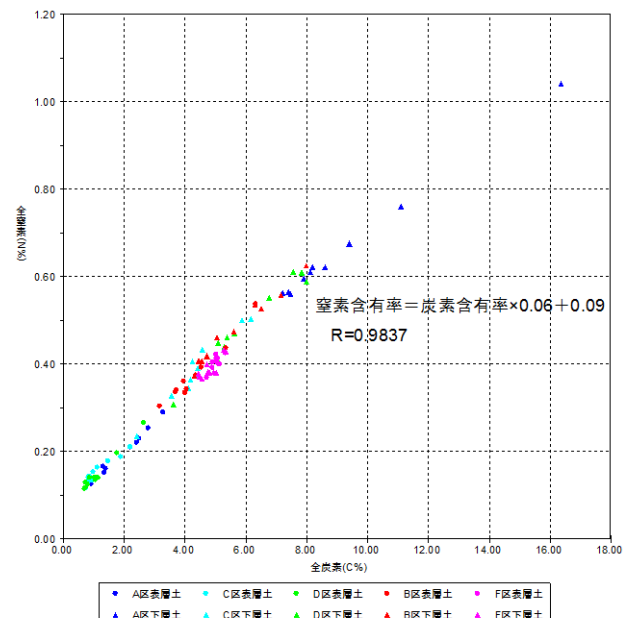


図-8 試穿調査土壌の全炭素率と全窒素率の相関

表-5 断面調査土壌のCN比の統計値

項目	土壌断面調査			試穿調査					全体	
	全体	鉍質土	泥炭土	A区	B区	C区	D区	F区		ACD区
平均値	14.45	10.48	16.88	11.51	11.57	9.29	9.72	12.38	10.17	10.89
最大値	20.54	13.37	20.54	15.70	12.81	12.22	13.55	13.21	15.70	15.70
最小値	6.61	6.61	13.15	5.97	10.42	5.84	5.64	11.71	5.64	5.64
標準偏差	3.74	2.15	2.05	2.65	0.65	2.34	2.74	0.38	2.72	2.31
変動係数	25.86	20.56	12.13	23.01	5.59	25.20	28.17	3.09	26.69	21.25

なわち無機化量がプラスの場合は、作物が吸収利用できる無機態窒素が増量したことを意味する。分析では 30°C × 4週間という条件下で培養しているため、実際の圃場で同じ増量となっているわけではないが、土壤環境が好適な条件に置かれた場合の潜在的な窒素供給能力と考えることができる。この窒素供給能力が高く、水稻の出穂期に窒素の無機化が生じることが米粒のタンパク含有量の増加の一因となる。そこで、試験区土壤の無機化率を表-6に示した。

水田(A, C, D区)での無機化率は泥炭土より鈰質土の方が大きい。畑地(B, F区)での無機化率は鈰質土と泥炭土で大差ない。

一般に有機物含有量が多い土壤は窒素の無機化量も多い。泥炭土は母母となる全窒素含有量が多いため、無機化率で見ると小さな値となるが、無機化量は大きい。

図-9、図-10に代表としてA区、B区の無機化量を示した。

泥炭土では、培養後の無機態窒素(=可給態窒素)の量が大きく増加していることが理解できる。

このことは、泥炭土の潜在的な窒素供給量が多いことを意味している。したがって、泥炭土から供給される無機態窒素の作土への移行を作物の生育ステージに適合させて管理することが必要である。

また、圃場での土壤採取・分析頻度を増やして、圃場での実際の窒素成分の挙動(経時変化)を追跡する必要もある。

表-6 窒素成分の無機化率

層位	窒素成分の無機化率(%)								鈰質土平均	泥炭土平均
	A区		C区		D区		B区			
	暗渠脇	渠間	暗渠脇	渠間	暗渠脇	渠間	暗渠脇	渠間		
1	2.89	4.30	1.62	0.97	1.29	1.17	1.83	2.38	1.45	
2	3.88	1.06	4.71	5.09	3.82	3.10	2.86	2.55	1.60	
3	1.18	1.24	0.36	1.09	1.37	0.99	1.06	1.91	4.29	
4	0.36	0.83	0.46	0.81	0.49	0.54	1.19	1.16	1.14	
5	1.08	1.47	0.51	0.90	0.72	1.18	1.00	0.78	0.36	
全体										2.32
ACD区										2.81
BF区										1.61

※黄色着色は、亜泥炭土、泥炭土を示す。

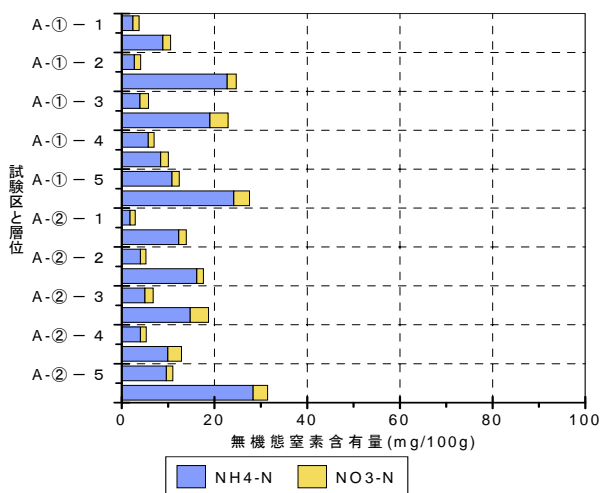


図-9 試験区別、土層別の窒素無機化量 (A区)

(上:有効態窒素、下:可給態窒素、①:暗渠脇、②:渠間)

c) pH (H<sub>2</sub>O)、遊離酸化鉄、可給態ケイ酸

土壤理化学分析においてpH、遊離酸化鉄、可給態ケイ酸の結果を図-11~図-13に示す。

水田土壤の適正 pH の範囲は 5.5~6.0 である<sup>2)</sup>。試験区の土壤は、図に示したように、試験区、層位を問わず全て酸性側にある。泥炭土層から供給される腐植酸の影響も考えられた。せめて、第1層と第2層の pH は矯正が必要である。

酸性矯正は炭カルの投入で対処できる。炭カルの投入は交換性 Ca の補充の効果も期待できることから、一石二鳥である。しかし、pH(H<sub>2</sub>O)が 6.5 を超えるような過剰な投入は鉄やケイ酸成分の有効化を阻害するので注意が必要である。

遊離酸化鉄と可給態ケイ酸の存在は良食味米生産の条件として、近年の水田土壤の診断において、注目されている項目である。

遊離酸化鉄の基準値は、2%以上である<sup>2)</sup>。その意味するところは、硫化水素が発生するような強還元状態ではない=水稻根が健全に伸張するというを裏付ける指標である。可給態ケイ酸の基準値は、16mg/100g 以上

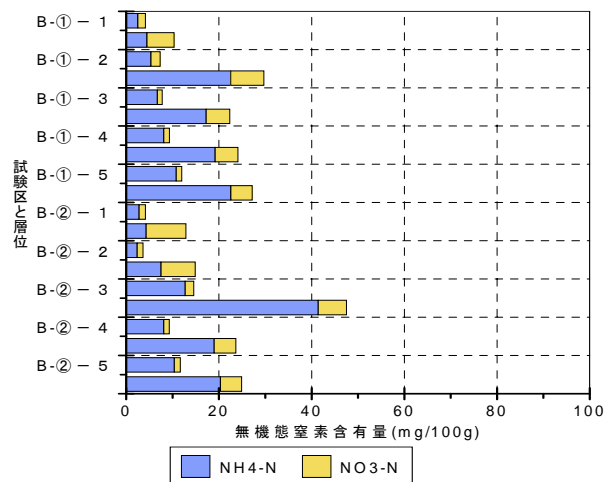


図-10 試験区別、土層別の窒素無機化量 (B区)

(上:有効態窒素、下:可給態窒素、①:暗渠脇、②:渠間)

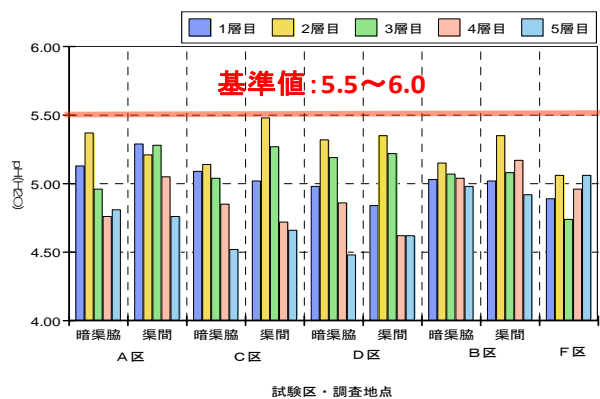


図-11 pH(H<sub>2</sub>O)

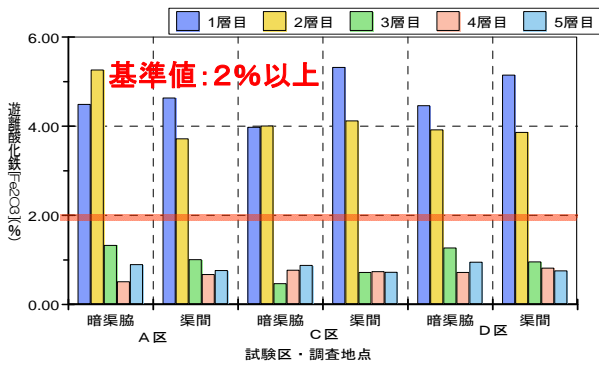


図-12 遊離酸化鉄

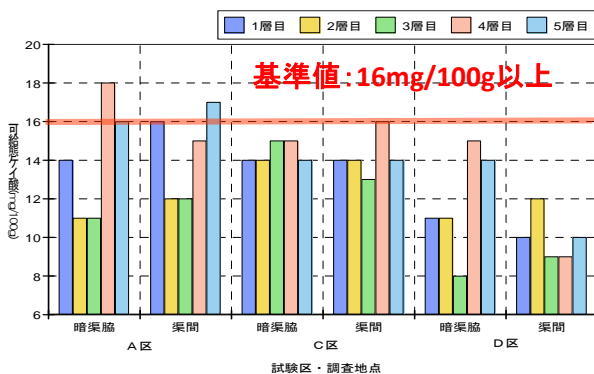


図-13 可給態ケイ酸

である<sup>2)</sup>。その意味するところは、ケイ酸の水稲に対する生理作用に基づくものである。すなわち、水稲のケイ酸吸収は以下の効果をもたらすからである。

- ① 葉の水分状態を良好に保ち光合成の促進
- ② いもち病、葉鞘褐変病の軽減
- ③ 味の向上

試験区の土壌は、遊離酸化鉄に関しては満足しているが、可給態ケイ酸に関しては『やや不足』の状態にあった。ケイ酸苦土石灰(通称ケイカル)等の投与を、上述した、酸性矯正および交換性 Ca の補充とのバランスを勘案して実施する必要がある。

## 6. まとめ

本調査は端緒に就いたばかりで、2011年度の調査結果では、現状の一端を把握したに過ぎない。しかし、地下灌漑システムの有効な利用方法を切望している地元関係者の熱意が強く感じられた。

地下灌漑の実施で、土層中へ新鮮空気の取り込みが生じ、このことが以下の効果を生み出している可能性がある。これらの機作を究明しなければならない。

- I. 遊離酸化鉄の有効化＝還元状態の緩和→無機化窒素の硝酸態化→溶脱の促進→水稲の窒素吸収の抑制→低タンパク米
- II. 可給態ケイ酸の有効化→水稲の生理バランスの適正化→窒素吸収の抑制→低タンパク米
- III. 無機化窒素の硝酸態化→溶脱の促進→水稲の窒素吸収の抑制→低タンパク米

今後の予定として 2012 年度は、2011 年度の調査観測に続き、以下のデータの蓄積を行う予定である。

- ① 地下灌漑実施前後の土壌成分の動態を把握するための土壌試料採取・分析を充実
- ② テンシオメータおよび Eh メータ観測記録、土中水採取
- ③ 作物の生育状況と地下灌漑利用のタイミングに鑑みた温室効果ガス分析の実施。

現地調査および分析を通じ、地下水位制御による水分・養分の動態を解明し、作物の生育ステージ別の地下灌漑水位制御による土壌養分動態の制御技術を開発し、持続的で環境調和型の大規模な農地利用システムの実現を目指したい。

## 参考文献

- 1) 日本国政府：地球環境時代を先導する新たな北海道総合開発計画、2008。
- 2) 北海道農政部：北海道施肥ガイド2010、p.17、2010。