

戦-81 環境と調和した泥炭農地の保全技術に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：資源保全チーム、寒地技術推進室

研究担当者：横濱充宏、石田哲也、中山博敬、大久保天、岡村裕紀、池田晴彦、細川博明、煤孫英雄

【要旨】

本研究では、泥炭農地の沈下実態を把握するとともに、泥炭農地における地盤沈下の要因の一つである泥炭の分解を抑制し、沈下を防止する手法の開発を目標とする。長期にわたる農地の沈下は、造成直後から 46 年間にわたる草地の沈下測量結果から、現在もゆるやかに沈下が進行しており、主たる要因は排水に伴う乾燥収縮または圧密であると推察された。泥炭の長期的な分解状況を把握するため試験圃場内に既知の有機物を埋設し、その分解量を計測する試験を実施した結果、地下水位が埋設深より高いと残存率が高いことが明らかとなった。農地に付帯する排水路に堰を設けて排水路内水位を上昇させる試験を実施した結果、排水路内貯留水は排水路から 40～70m 程度の圃場内地下水位を制御すると考えられた。また、牧草収量と地耐力は地下水位を高く維持した場合でも、通常の排水管理を行った場合と同様の値を示した。ただし、湿生環境を好むリードカナリーグラスの割合が増加することが明らかとなった。温室効果ガスの測定では、地下水位を高く維持することにより、有意に CO₂ の発生を抑制できることが明らかとなった。これらの調査結果から、周辺湿原の保全に配慮した泥炭農地の管理方法を提案した。

キーワード：泥炭、分解、沈下、抑制、地下水位、温室効果ガス

1. はじめに

北海道では厚い泥炭土壌からなる農地が広く分布している。泥炭農地では排水に伴う泥炭の圧縮・収縮・分解により、地盤沈下と圃場面の凹凸化が生じ、営農に支障をきたしており、泥炭農地の再整備（以下、二次造成と表記）が必要とされている。一方、泥炭農地の一部は国立・国定公園などに指定された泥炭湿原に隣接している。平成 14 年 12 月に自然再生法が成立し、湿原に隣接する泥炭農地の再整備は、泥炭湿原の保全にも配慮して実施することが不可欠となっている。

このような背景のもと、本研究課題では下記 6 項目についての研究を実施する。

1) 広域的沈下実態の把握解析 (H18～19)、2) 泥炭農地の沈下メカニズムの解明と沈下抑制手法の提案 (H18～22)、3) 泥炭農地地域の耕作道路・小排水系統の実態調査と再整備手法の提案 (H18～22)、4) 泥炭農地の地下水位制御にともなう環境負荷軽減効果の解明 (H20～22)、5) 周辺湿原に配慮した泥炭農地の再整備手法の開発 (H19～22)、6) 湿原に配慮した泥炭農地の持続的利用技術、保全技術のとりまとめ (H22)。

本研究では、主に泥炭農地での沈下実態および農地に付帯する明渠排水路とその周辺の沈下実態を明らか

にするとともに、泥炭農地に生じる沈下量と圃場内地下水位および積雪荷重との関係について考察した。また、長期的な泥炭の分解状況を把握するため、試験圃場内に既知の有機物を埋設し、その分解量を計測する試験を実施するとともに、泥炭農地から発生する温室効果ガスの現地調査を実施した。さらに、農地に付帯する排水路に堰を設けて、排水路内水位を上昇させた試験を実施し、圃場内の地下水位の変動を明らかにするとともに、牧草の生産性及び地耐力についての調査を実施した。

2. 広域的沈下実態の把握解析

ここでは、二次造成後の泥炭農地での沈下量計測結果をもとに、圃場の面的な沈下実態を整理し、置土厚と沈下の関係について考察した。また、時間の経過とともに生じる泥炭農地の沈下は地下水位の低下や冬期に作用する積雪荷重と密接に関係しているため、泥炭農地に生じる沈下量と圃場内地下水位および積雪荷重との関係について検討した。

2. 1 圃場の面的な沈下実態について¹⁾

2. 1. 1 調査方法

圃場の面的な地盤沈下の調査は A 町内に位置する泥

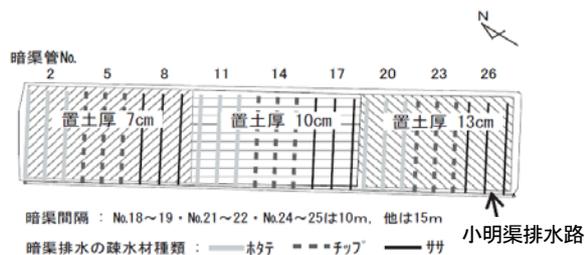


図1 試験圃場の概要

炭土草地（中間泥炭、層厚約 4.5m）¹⁾ で実施した。1980年に約 10 cmの置土を伴った一次造成が行われた圃場内に調査圃場は設置され、長辺約 400m、短辺約 100m の圃場であり(図 1)、長辺の南西側には小明渠排水路が掘削されている。以下では排水路に接する圃場辺を「小明渠側」、反対側を「隣接圃側」と呼称する。

調査圃場では 1996 年 8 月～10 月に暗渠排水が施工され、同年冬期に置土材が搬入され、荒敷均しが実施された。1997 年融雪後、層厚約 7 cm、約 10 cmおよび約 13 cmの置土試験区の敷均しが行われた。以下ではそれぞれを「7 cm区」、「10 cm区」および「13 cm区」、3 試験区全体を「全体」と呼称する。なお、1999 年度には、13 cm区に約 20m³の鈹質土が搬入され、敷き均された。敷均し範囲等が明確でないため、ここではこの搬入敷均しの影響については考慮に入れないで報告する。

二次造成後の標高変化量を把握するため、1997 年 8 月、1997 年 11 月、1998 年 5 月、1998 年 12 月、1999 年 5 月、1999 年 12 月、2000 年 7 月、2000 年 11 月、2001 年 11 月、2003 年 11 月および 2008 年 10 月に、圃場長辺に平行な測線では 10m 間隔、圃場短辺に平行な測線では 20m 間隔のメッシュを想定し、その交点で水準測量を実施した。なお、営農作業への支障を回避するため、測点には測量杭等は設置しなかった。

2. 1. 2 結果及び考察

試験圃場での 1 年後(1997 年 12 月～ 1998 年 12 月)、3 年後(1997 年 12 月～ 2000 年 11 月)、6 年後(1997 年 12 月～ 2003 年 11 月) および 11 年後(1997 年 12 月～2008 年 10 月) の標高変化量の分布図を図 2 に示す。なお、観測開始は 1997 年 7 月であるが、経年的に調査がなされたのは 11 月あるいは 12 月の冬期であり、季節により地下水位の影響を受けて標高は変化するため、ここでは 1997 年 12 月の標高を基準とした。

1 年後、隣接圃側で標高が 4 cm未満の上昇をした区域も認められるが、全体として沈下が進行し、大部分の面積で 4 cm未満の沈下を、一部で 4 cm～ 8 cmの沈下を生じている。図 2 右側の 13 cm区で他区に比べ、標高

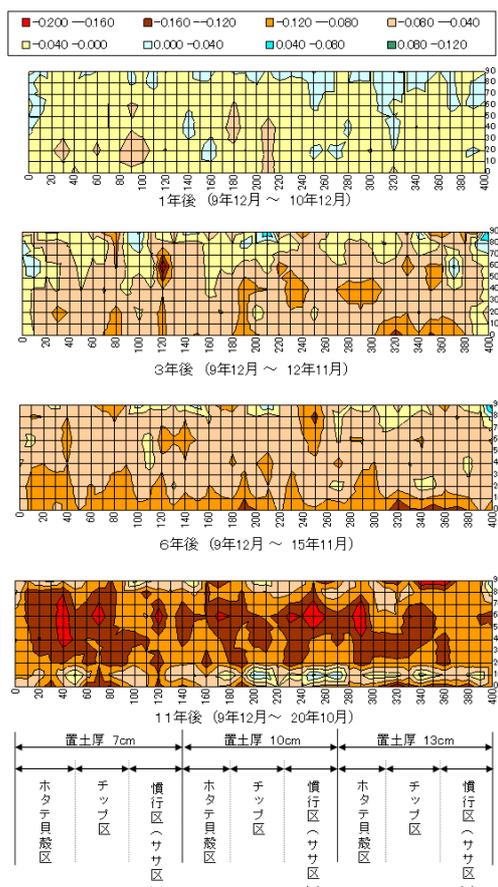


図2 1 年後、3 年後、6 年後、11 年後の標高変化分布

が上昇した区域がやや広い。3 年後では、1 年後の分布図で標高の上昇した区域が減少し、大部分が 4 cm～ 8 cmの沈下域となり、8 cm～ 12 cmの区域もかなり出現し、12 cm～ 16 cmの沈下が生じた地点も認められるようになり、全体として沈下が進行した。6 年後では、3 年後の分布図で標高の上昇した区域と 0～ 4 cmの沈下が生じた区域が減少し、4 cm～ 8 cmの沈下域が増加したが、全体として、3 年後に比較し、大きな沈下の進行は認められない。1 年後、3 年後および 6 年後を通して小明渠側で沈下が進行し、隣接圃側で沈下の進行が遅い。11 年後では明渠近くの一部で 6 年後と比較して標高が上昇しているがその要因は不明である。6 年後の分布図で 4 cm～ 8 cm の沈下域が 11 年後ではさらに沈み、12 cm～20 cm の沈下域が増加しており、全体として沈下が進行した。

1997 年 8 月における標高を基準に、各区の平均沈下量の推移を図 3 に示した。観測開始後、沈下と上昇を繰り返しながら、沈下量は 13 cm区で 1999 年 12 月まで、他区では 2000 年 7 月まで増加し、約 4 cmとなった。その後、13 cm区では 2001 年 11 月までに約 2 cm上昇した。そして、2003 年 11 月の標高は 1997 年 12 月の値とほ

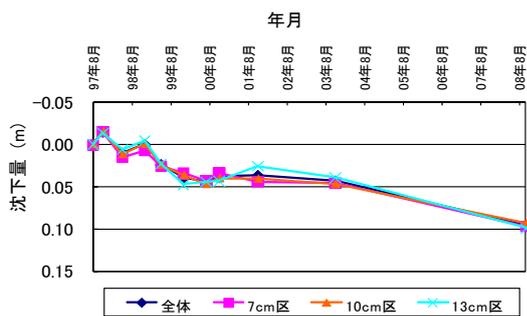


図3 沈下量の平均値の推移

ぼ等しく、この4年間では平均沈下量は増大していない。他の区も1999年12月と2003年11月の標高に殆ど差が無い。しかしながら、2003年11月から2008年10月までの約5年間に約5cmの沈下が観測された。すなわち、二次造成後の圃場においても、長期にわたってゆるやかに沈下が進行することが明らかとなった。

2.2 沈下量と地下水位および積雪荷重の関係

2.2.1 調査方法

調査圃場はB町内の泥炭農地(低位泥炭、層厚約1.4~3m)で、1989年に造成された草地である。調査圃場の土壌は、鈹質土の客土層(約15cm)の下に、ヨシ、木を主要構成植物とする低位泥炭が堆積している¹²⁾。図4に調査概要を示す。沈下板の設置位置は、堰上げに

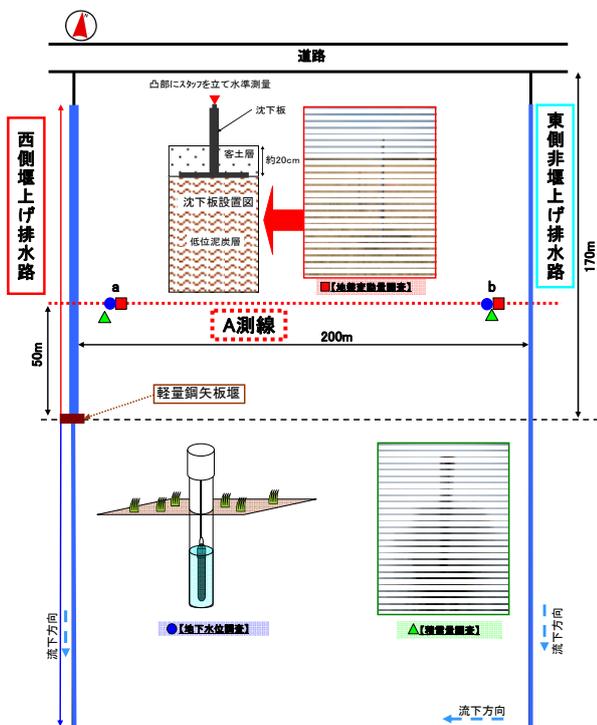


図4 調査概要図

ともない排水路水位が高く維持されている西側堰上げ排水路から約10m地点(以下、a地点と表記)と、排水路水位が従来どおり低い東側非堰上げ排水路から約10m地点(以下、b地点と表記)である。沈下板は、自重負荷を軽減するために軽量の塩ビ製で制作したものを使用し、2007年4月に泥炭土層の直上に設置した(図4参照)。地盤変動量は、沈下板ロード上部を約1~2ヶ月に1回の頻度で水準測量を行い観測した。また、沈下板設置箇所近傍には水位計を設置し、地下水位を15分間隔で自動計測した。冬期には、a、b両地点近傍、計2箇所、1ヶ月に1回程度スノーサンプリングを行い、積雪深及び重量を測定した。ここでは、2007年8月下旬から2011年3月下旬にかけて観測したデータを用いた。なお、気温、降水量及び積雪深に関する気象データは、B町のアメダスデータを使用した。

2.2.2 結果及び考察

図5に地下水位と地盤変動量の経時変化を示す。なお、地下水位については、降雪によりデータ回収ができなかったため、2010年12月以降のデータは表示していない。また、2008年11月下旬~12月上旬は、機器の不具合により水位データが欠測となった。各月の地盤変動量は、2007年8月24日を基準値として求めた。これは、沈下板設置時における地盤掘削の影響を除く為である。

a地点及びb地点の平均地下水位はそれぞれ20.3cm及び41.2cmであり、約21cmの水位差が生じていた。地盤変動量の経時変化は、2009年6月までと2010年はa、b両地点とも春と秋に上昇し、夏と冬に下降している。これは、地下水位の上昇・下降及び冬期の積雪荷重が影響していると考えられる。すなわち、春は融雪、秋は降水量の増加により地下水位が上昇し、逆に夏は降水量が少なくなるために地下水位が低下する。また冬は地下水位が低下するとともに、積雪による重みが地盤に加わっている。一方、2009年夏期(5~9月)は地盤変動が小さかった。2009年夏期は降水量が

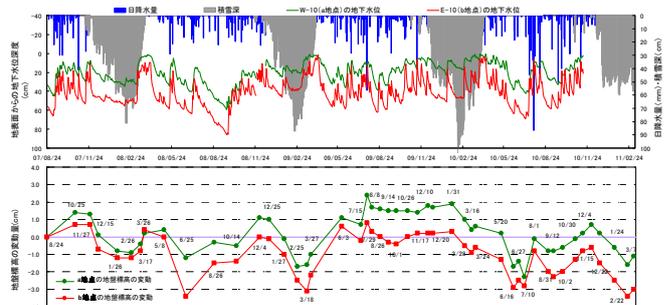


図5 地下水位と地盤変動量の経時変化

598mmあり、2008年夏期と比較して約180mm増加している。また、地下水位の平均は2009年夏期のa地点及びb地点でそれぞれ20.7cm、43.5cmであり、2008年夏期のそれは、33.7cm、55.2cmであった。すなわち、2008年夏期のように小雨に伴い地下水位が低下する年には地盤変動量が大きく、逆に2009年夏期のように多雨に伴い地下水位が高い年には地盤変動量が小さい値を示した。また、2007年8月からのa地点とb地点を比較すると、a地点の地下水位はb地点の地下水位より常時高く推移し、これに対応してa地点の方がb地点より沈下量が小さかった。2011年3月末の測量では、非堰上げ側のb地点は観測開始時点と比較して約3cm沈下しているが、堰上げ側のa地点では約1cmの沈下であった。このことから、地下水位を高く維持することで圃場表面の地盤沈下を抑制出来ることが示唆される。

次に、積雪期の気温、積雪荷重、地下水位と地盤変

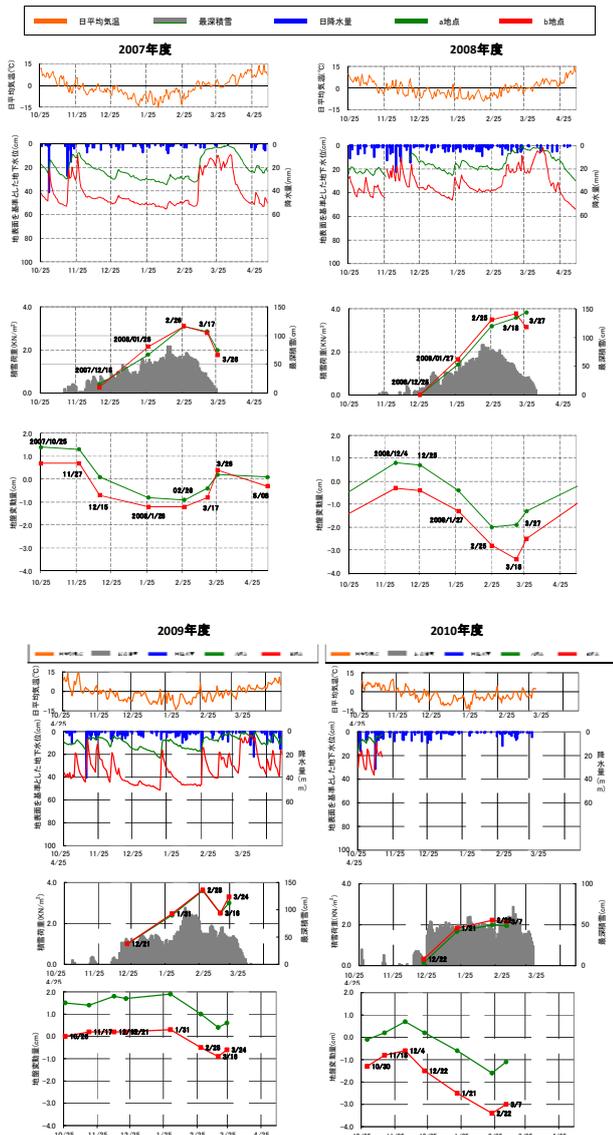


図6 積雪荷重、地下水位と地盤変動量の関係

動量の関係を図6に示す。2007～2009年度は10月下旬から各翌年5月上旬までのデータを、2010年度は10月下旬から翌年3月下旬までのデータを使用した。なお、2008年度12月の積雪荷重は調査地点の積雪がなく、値を0とした。

積雪荷重は、2007年度では12月から徐々に増し、2月26日の3.1 KN/m²をピークに3月段階では徐々に小さくなっていく。2008年度は12月では積雪が確認されなかったものの2月25日で3.2～3.5KN/m²、3月18日で3.6～3.8 KN/m²であり、2007年度と比べて、積雪荷重のピークが遅くなっている。2009年度は、12月から徐々に増し、2月28日の約3.6 KN/m²をピークに3月段階では小さい値を示している。3月24日の値が3月16日より大きい値を示しているのは、間に降雨、降雪があり、雪が締め固められたためと考えられる。2010年度は、12月から徐々に増し、2月にピーク値を示し、3月段階で小さい値を示した。

各年度を通してみると、a、b両地点間に地下水位の差が16～24cm生じていたものの、積雪荷重の増加に伴って、両地点ともほぼ同じく沈下している。図7に積雪荷重と地盤沈下量との関係を示した。なお、ここでの地盤沈下量とは、各年度の積雪直前に測量した標高を基準とし、その値からの沈下量を示している。2009年度を除き、積雪荷重が大きいほど沈下量も大きい値となる傾向を示した。2009年度のみ異なる傾向を示したが、その理由は明らかにできなかった。一方、a地点とb地点の比較では両年度とも大差はなく、地下水位の違いが、積雪荷重に伴う地盤沈下に対して影響を及ぼすか否かについては判然としなかった。

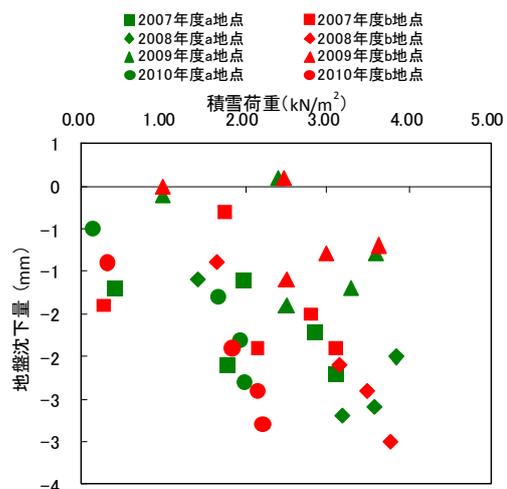


図7 積雪荷重と地盤沈下量の関係

3. 泥炭農地の沈下メカニズムの解明と沈下抑制手法の提案

3.1 リターバッグ法による泥炭土槽内での有機物分解速度の検証^{2, 3, 4)}

泥炭地を農耕地化するためには排水促進、すなわち乾燥化が必須となっている。農耕地化に伴う地盤沈下は古くから認識されており、そのメカニズムは乾燥収縮・圧密・有機物分解が複合したものと理解されている。乾燥収縮や圧密は工学的な理解が進んでいるが、有機物分解に関する定量的な知見は乏しい。そこで、秤量した標準有機物を封入したリターバッグを泥炭土層中に埋設し、一定時間経過後の重量減少量から分解速度を計測する手法(=リターバッグ法)を実施した。

調査フィールドは「B 町の大規模草地と隣接未墾地(以下、B 調査地という)」である。以下、リターバッグ法の概要、試験方法および結果を報告する。

3.1.1 調査方法

3.1.1.1 リターバッグ(litter bag)法の概要

リターバッグと呼ばれるメッシュの袋に一定量の有機物を入れ、これを土中に埋設し、一定時間後に掘り出し、リターバッグの中の有機物残存量を秤量し、分解量を測定するものである。メッシュの袋を利用するのは水や気体の自由な動きを阻害しないためである。したがって、この方法ではメッシュ径よりも小さく細分化した物は、たとえ気体や液体にまで分解しなくても分解消失したこととして測定される欠点を持つ。また、後述する埋設器具を用いた埋設では、試料は垂直に挿入されることになる。

本調査で用いる有機物には以下の2種類を選定した。

①ろ紙：化学分析で一般的に用いられているワットマン製 No3 濾紙を 10cm 正方で切断したもの。セルロースが主体なのでヨシやスゲなど湿性草本を意識した選定。

②ミズゴケ：園芸用品店で一般に販売されているミ



図8 リターバッグ

ズゴケ。高位泥炭の代表的構成植生であることからの選定。

メッシュ径 1mm のナイロン製の網シートを横 11cm × 縦 13cm で切断し、上記の有機物を封入して四方を圧着させた。個々に連番を付け、重量を測定して記録した(図8)。

3.1.1.2 埋設機具

機具はノミと埋設具で一組である(図9)。掘削による埋設では土層を著しく攪乱してしまい通気性や通水性など土壤環境を大きく変化させるため、分解程度にも差異を生じさせる恐れがある。そこで、極力、土層攪乱せずに埋設する器具として当研究チームが独自に考案製作したものである。



図9 リターバッグ埋設機具

3.1.1.3 リターバッグ埋設位置

B 調査地では圃場の附帯明渠を堰上げして排水路水位を高く維持し、圃場内地下水位も連動して高く維持されるか否か等を実証試験している。圃場内地下水位が高く維持された場合における有機物分解に及ぼす影響を評価する一つの指標として、リターバッグ法を実施している。

圃場中央部で深さ約 1 m までの範囲に埋設する方法(以下、多深度埋設という)と、堰上げ水路および非堰上げ水路近傍にリターバッグを客土層直下(深さ約 30cm)に浅く埋設し(以下、浅層埋設という)、比較を行う方法を実施した。埋設位置を図 10 に示した。

3.1.1.4 多深度埋設の概要

有機物の分解は好氣的な微生物の作用が主である

から、空気が遮断される深度への埋設や水没によって有機物の分解が遅延すると考えられる。したがって、リターバッグの分解程度は水没や空気の遮断の程度を反映しており、堰上げにより地下水を高く維持することの効果の評価できるものと考えた。そこで、濾紙と水ゴケを封入したリターバッグを、図 11 に示した多深度に埋設し(平成 16 年 8, 11 月)分解程度を調査した。リターバッグの回収は、約 1 年を経過した平成 17 年 10 月に第 1 回、約 3 年を経過した平成 19 年 11 月に第 2 回を実施した。

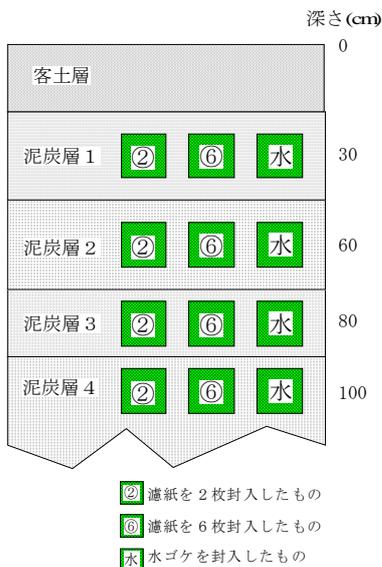


図 11 多深度埋設の模式図

3.1.1.5 浅層埋設の概要

多深度埋設の 1 年経過時点の回収結果から、表層での分解は速やかに進行していることが示された。特に、セルロース系である濾紙は封入した有機物が全く残存していないものもあった。そこで 1 年以内の短期間で分解程度と地下水位との関係を把握するため、H2 圃場の堰上げ及び非堰上げ排水路近傍に濾紙を封入したリターバッグを浅く埋設した。概要を図 12 に示した。

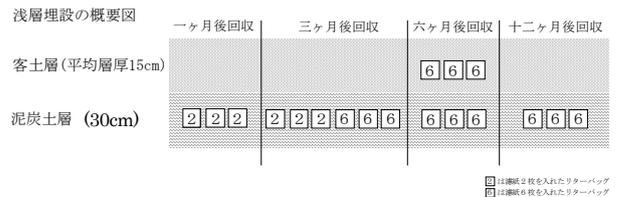


図 12 浅層埋設の概要図

3.1.2 試験結果

3.1.2.1 多深度埋設

リターバッグの「埋設時と回収時の有機物重量の比率」を残存率とした。埋設後の経過年数が約 1 年と約 3 年での残存率を、リターの種類別に図 13~15 に示した。その結果、以下の 3 点が明らかとなった。

- ①リターの種類に関わらず埋設深度が浅いほど残存率が小さい傾向にある。特に濾紙でその傾向が顕著である。
- ②濾紙 2 > 濾紙 6 > 水苔の順に残存率が小さい。

3.1.2.2 多深度埋設と地下水位の関係

表 1 に多深度埋設地点近傍で測定した地下水位の階

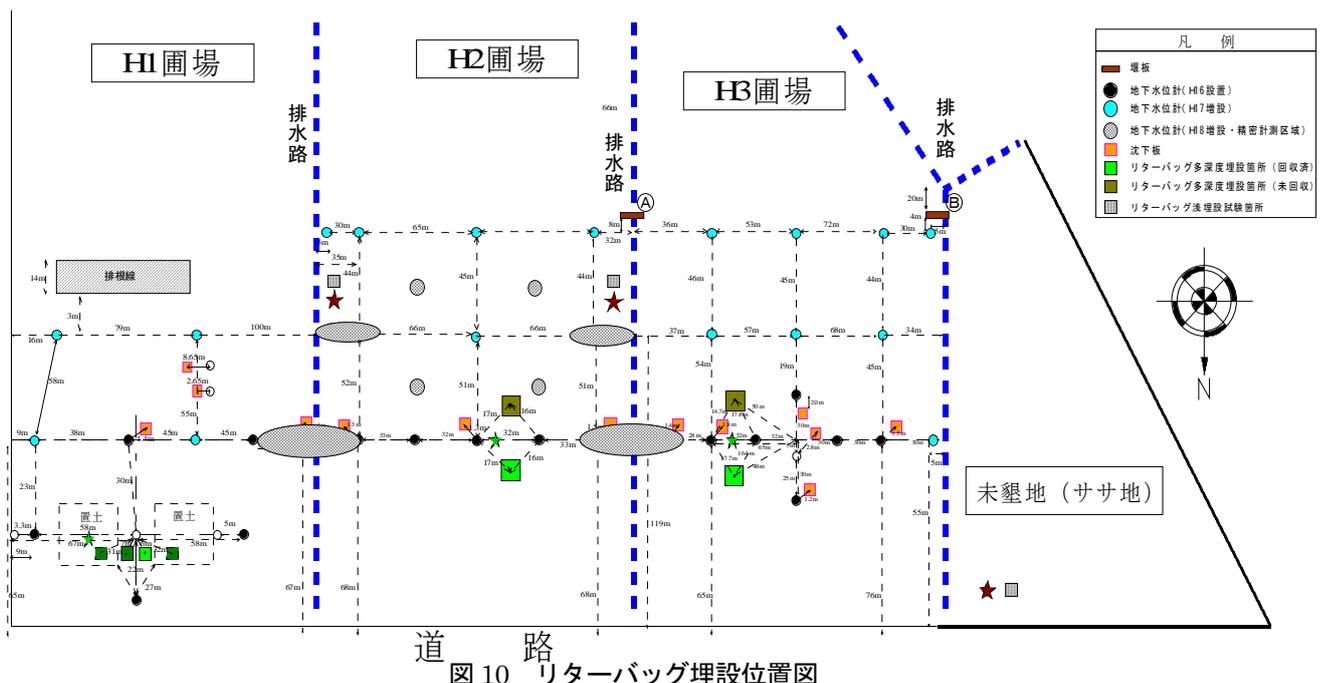


図 10 リターバッグ埋設位置図

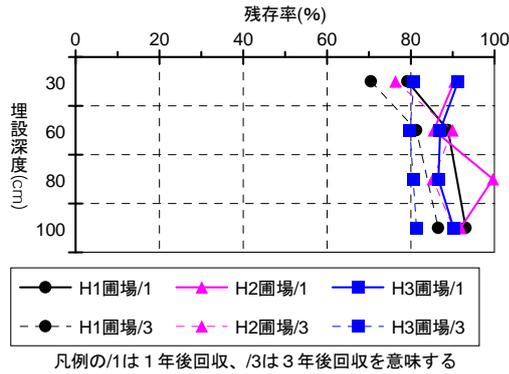


図 13 水苔の残存率の推移 (多深度埋設)

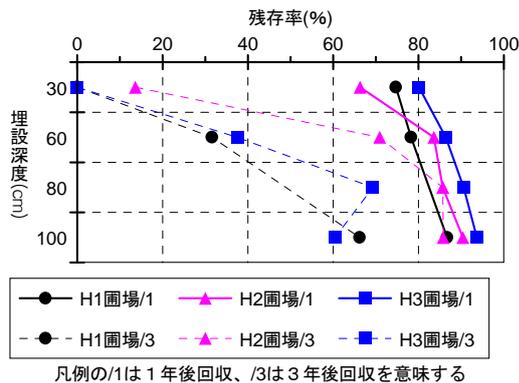


図 14 濾紙 6 枚の残存率の推移 (多深度埋設)

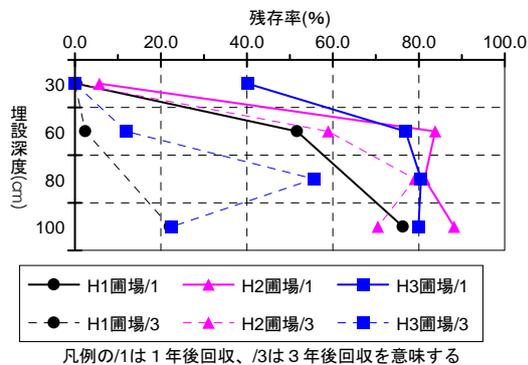


図 15 濾紙 2 枚の残存率の推移 (多深度埋設)

級別日数を示した。地下水位より下部の土層の気相率を 0% と考えると、たとえば表 1 の「30cm 以上」とは、すべての埋設深のリターバックが水没、すなわち空気に触れていないことを意味し、「30~60cm」とは、30cm 深に埋設したリターバックは空気に触れていたことを意味する。表 1 より、埋設深が深いほど、地下水中に没している期間が長く、またすべての地点で地下水位が 80cm 以下に下がった記録はなかった。このことから、

表 1 日平均地下水位の階級別日数

	日平均地下水位の階級別の日数(日)				
	30cm以上	30~60cm	60~80cm	80~100cm	100cm以下
H1圃場	110	109	12	0	0
H2圃場	128	93	10	0	0
H3圃場	122	94	15	0	0

(平成17年4月20日~12月6日までの231日間)

地下水に没している期間が長いほど残存率が高くなることが示唆された。

3.1.2.3 浅層埋設

多深度埋設と同様に「埋設時と回収時の有機物重量の比率」を残存率として示した。濾紙 2 枚の結果は図 16 のとおりであり、以下の 3 点が明らかとなった。

- ①埋設後 1 ヶ月程度では区間差はない
- ②3 ヶ月経過では、非堰上水路沿線で残存率が小さくなり、他の区と差がある
- ③多深度埋設で回収した 14 ヶ月後のデータを予測値と見なして図示した。

また、濾紙 6 枚の結果は図 17 のとおりであり、以下の 3 点が明らかとなった。

- ①埋設 3 ヶ月後では濾紙 2 枚と同様の傾向にあった。
- ②埋設 6 ヶ月後では堰上水路沿線での残存率が他区より大きく、12 ヶ月後には明瞭な差異となった。
- ③客土層に埋設して 6 ヶ月後に回収したリターでは、堰上水路沿線の残存率が明らかに他区より大きかった。

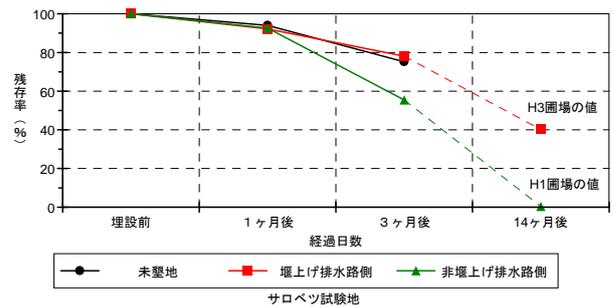


図 16 濾紙 2 枚の残存率の推移 (浅層埋設)

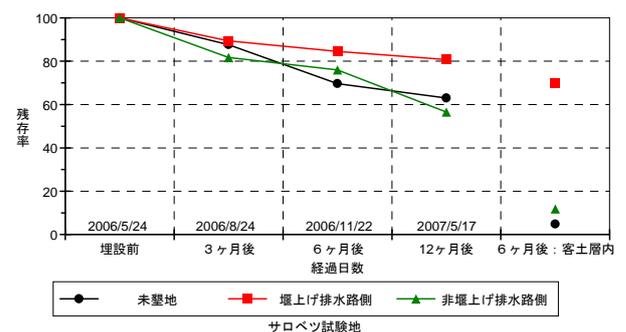


図 17 濾紙 6 枚の残存率の推移 (浅層埋設)

3.1.2.4 浅層埋設と地下水位の関係

リターバックの埋設地点に近い地下水位計での地下水位観測記録を用いて、日平均地下水位がリターバック埋設深より高い日数を集計した(表 2)。その結果、集計期間の 182 日間で堰上げ水路側では 149 日間、非堰上げ水路側では 44 日間であり、水没状態であった期

間に明瞭な差異のあることがわかった。すなわち地下水に没していた期間が長いほど、残存率が高いと考えられた。

表 2 地下水位がリターバッグ埋設深より高い日数

埋設位置	地下水位がリターバッグ埋設深より高かった日数(日)		
	1ヶ月後 (35日間)	3ヶ月後 (93日間)	6ヶ月後 (182日間)
堰上げ排水路側	35	60	149
非堰上げ排水路側	1	3	44

3.1.3 考察

浅埋設試験の結果から、地下水位が高く維持される期間の長い「堰上排水路沿線」に埋設した濾紙のリターバッグの残存率が「非堰上排水路沿線」のものより高い傾向にあることが明らかであった。加えて、最表層の客土層に埋設したものでは顕著な差であった。多深度埋設からも同様の傾向が示された。このことから、地下水位を高く維持することで有機物の分解を抑制する効果は発現できると考えられる。一方、多深度埋設の結果では、水ゴケの残存率と濾紙の残存率では、その挙動に大きな差が示された。このことは、水ゴケや濾紙に代表させた有機物の「質」による差異と考えられる。つまり、地下水位を高く維持することで顕著に分解が抑制される有機物と、そうではない有機物があるということである。具体的には、繊維素（セルロース・ヘミセルロース）は易分解性、木質素（リグニン）は難分解性と考えられ、今後、回収したリターバッグでの、これらの含有量や残存量を分析することで、有機物の質による分解性の難易を明らかにする必要がある。さらに、リターバッグの分解速度を現地の泥炭の分解速度に適用する解析方法を検討する必要がある。

3.2 置土による泥炭分解への影響の解明



図 18 置土直下へのリターバッグ埋設の模式図

リターバッグ法による泥炭土層内での有機物分解状況の調査結果から、泥炭と空気の接触を遮断することで、泥炭の分解が抑制遅延できることが強く示唆された。泥炭と空気の接触を遮断する方策として、泥炭を水没させることが考えられる。このことは、泥炭土の生成過程に即して考えれば明らかである。しかし、一般畑や牧草地として利用するにあたって、水没した環境での営農は不可能である。そこで、鉱質土で泥炭土を覆って空気との接触を遮断し、泥炭土の分解消失を抑制するとともに、永続的な地盤沈下を終息させる手法が考えられる。

3.2.1 調査方法

置土の沈下挙動を実測する置土試験に連携して、リターバッグを置土予定地に事前に埋設しておき、速やかに置土による被覆がされ、沈下挙動の観測終了後の置土撤去直後にリターバッグを回収し、その分解程度を計測するという現地試験を行った。試験地は前項で述べた圃場と同じである（図 10）。

リターバッグの埋設も、前章で述べた多深度埋設と同じ方式である。

埋設の模式図を図 18 に示した。

埋設は 2004 年 8 月、無置土部での回収は 2005 年 10 月（約 1 年後）、2007 年 11 月（約 3 年後）置土部での回収は 2008 年 9 月（約 4 年後）に実施した。

3.2.2 結果

3.2.2.1 置土直下での回収時の土壌状態

2008 年 9 月にリターバッグを回収するために置土を撤去した。その際、土壌状態に大きな差異があった。それは、80cm 置土では置土底部に明瞭なグライ層が約 15cm の厚さで生成されていたが、40cm 置土ではグライ層は全く認められなかったことである。グライ層は土層が還元状態にあることを示す。80cm 置土では、施工時に残存していた酸素が微生物の活性により消費され、その後、酸素の供給が途絶え、嫌気性条件下にあったこと、40cm 置土では酸素の供給が途絶えなかったことを意味する。

置土による空気の遮断＝有機物分解の抑制を期待した試験であったので、期待値を示唆する結果は得られたが、40cm 程度の置土では空気の遮断には十分な厚さではないとも言える。

3.2.2.2 置土直下に埋設したリターバッグの残存率

置土直下に埋設し約 4 年経過後に回収したリターバッグの残存率を、対照区として埋設した無置土部でのリターバッグの残存率と併せて、リターの種類別に図 19 に示した。結果は以下のとおりである。

1) 水ゴケ

60cm までの浅い土層では置土直下のほうでやや大きい残存率を示した。100cm の深部では置土の有無による差異は認められなかった。

2) 濾紙

60cm までの浅い土層では置土の有無に関わらず残存率が小さく、置土による有機物分解抑制効果は認められない。100cm の深部では置土直下で残存率が大きくなる傾向が認められる。

3.2.3 考察

置土直下に埋設したリターバッグの残存率で把握された現象は、有機物が分解しやすい物質であるかどうかという「質」と分解が抑制される条件に達するまでの時間との関わりによると考えられる。

濾紙のような易分解性有機物は、短期埋設試験からも明らかなように、浅く埋設した2枚程度の量では1年以内に消滅してしまう。したがって、置土直下への埋設であっても、置土直下が十分な嫌気状態に達して有機物分解が抑制される条件となるまでの期間で、相当程度の分解を受けてしまうということである。

一方、水ゴケのような難分解性有機物が主体となっているものは、少量含まれている易分解性成分の消失は受けても、残存した難分解性有機物の消失は置土に

より抑制されるということである。

このことは、泥炭農耕地の泥炭土が、一次造成後、既に易分解性有機物は失われ難分解性有機物を主体として残存しているのか、いまだに易分解性有機物を多く残存しているのかによって、今後の有機物分解消失を抑制する対策の考え方に指針を与えると考えられる。

3.3 室内試験による泥炭分解速度の解明

泥炭農地の地盤沈下の要因として、圧縮・乾燥収縮と並んで、有機物の分解消失があげられる。

しかし、分解消失による沈下は、定性的には理解できても、定量的なデータは乏しい。

泥炭の分解を定性的に考えた場合、有機物自体の分解性(易分解性か難分解性か)と微生物活性の両面で規定される。村山²⁴⁾は熱帯泥炭を用いた35℃好氣的培養実験で銅、亜鉛、アルミニウムといった重金属の添加で微生物活性が低下し、泥炭有機物の分解率が抑制される結果を示し、同時に、実用化には環境生態系に対する長期的影響を慎重に検討しなければならないと述べている。本項では、試験圃場の泥炭そのものの分解速度を室内試験により明らかにし、分解に伴う沈下量の推定を試みる。

3.3.1 試験方法

試験圃場から採取した泥炭を密閉容器に入れ、好氣的条件下で恒温培養し、容器内の二酸化炭素濃度を測定することで分解量を求め、経過時間で除することで分解速度とした。

3.3.1.1 供試資材

試験に供した泥炭土はB町内の試験圃場から採取した。試験圃場では10~15cmの鈹質土客土が施工されているため、客土層を剥ぎ取り、その直下の泥炭土を厚さ10cmで採取し、混和して原土として使用した。

3.3.1.2 処理方法

処理方法は、温度を37℃の恒温とし、酸素は容器内の空気で行うこととし、水分とpHを調整することとした。まず、水分を調整した試料を作成し、水分調整済試料を2分割してpH調整試料を作成した。いずれの処理も、二重チャック付ポリ袋を使用して行った。

水分は、以下の2処理とした。

- ①水分無調整=原土状態の含水率88%を保持した
- ②水分調整=原土の重量変化を監視しながら含水率75%まで冷蔵庫内で自然風乾させた

pHは、以下の2処理とした。

- ③pH無調整=原土状態のままである。水分無調整試

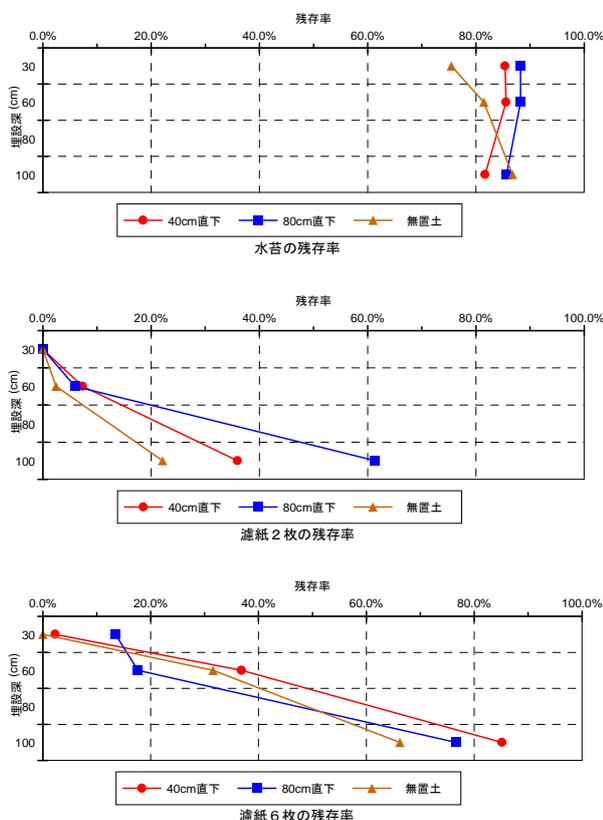


図 19 置土直下に埋設したリターバッグの残存率

料は pH4.7、水分調整試料は pH4.1 であった

④pH 調整＝石灰中和法で求めた炭酸カルシウムを添加して、pH6.5 に調整した

炭酸カルシウムの添加量は、水分無調整試料で 75mg/g、水分調整試料で 140mg/g であった。

処理区は、水分と pH 調整の有無を組合せて以下の 4 区とした。供試体数と共に示す。

水分無調整・pH 無調整（以下、対照区という）：32 個、水分無調整・pH 調整（以下、pH 調整区という）：28 個、水分調整・pH 無調整（以下、水分調整区という）：32 個、水分調整・pH 調整（以下、水分 pH 調整区という）：28 個

3.3.1.3 供試体作成方法

作成した供試体を図 20 に示す。ガス採取用の加工（スクリー蓋に穴を開けてセプタムを接着し気密試験を実施）を施した内容積 500ml の密閉容器の容器重量を秤量記録し、試料を秤入れた。量り入れる泥炭土の量を 4 段階に変えた実験区を設けた。処理区と実験区を組み合わせた供試体の種別と個数は表 3 のとおり



図 20 作成した供試体

表 3 供試体の種別と個数

供試体の種別		個数
処理区	実験区	
対照区	5g区	8
	10g区	8
	15g区	8
	20g区	8
pH調整区	5g区	7
	10g区	7
	15g区	7
	20g区	7
水分調整区	5g区	8
	10g区	8
	15g区	8
	20g区	8
水分pH調整区	5g区	7
	10g区	7
	15g区	7
	20g区	7

である。

3.3.1.4 高温培養

作成した供試体は庫内温度を 37°C に調整した恒温機に静置した。庫内温度の偏在を解消するために、エアポンプを用いて、庫内空気を連続して攪拌させた。

3.3.1.5 分析項目と分析スケジュール

培養処理(=ガス分析)の前後で泥炭土の性状がどのように変化するかを把握するために、灼熱損失等の分析を実施した。

培養処理前での分析は、水分と pH の調整を終えた時点で全炭素全窒素分析を除く項目を実施した。全炭素全窒素分析は各処理土の強制風乾細土(70°C・74 時間、通風乾燥機で乾燥)を保管しておき、ガス分析後の全炭素全窒素分析時に一連で実施した。培養処理後の分析は、速やかに強制風乾細土を作成し、実施した。また、ガス分析の前後で重量(容器重量込み)を計測した。

ガス分析は、供試体を作成して恒温機に静置した後、毎週 1 回、9 週間に渡って実施した。ガス採取は、ガスタイトシリンジを用いた。容器の蓋に接着したセプタムにシリンジ針を貫通させ、数回ピストンして容器内の空気を攪拌・均一化させてから、約 1.5ml を吸引した。ガスクロマトグラフへの注入量は 1.0ml である。

ガス分析に際して、密閉容器の空気置換のタイミングが検討課題となった。空気置換のために密閉容器の蓋を開けると水分の蒸発損失が発生し、重量の大きな変動や微生物活性への影響が生じることが懸念されるため、可能な限り、空気置換の回数を少なくすることとした。予備実験において容器内の二酸化炭素濃度が 120000ppm を超えると二酸化炭素の濃度上昇が大きく低下することを確認していたことから、密閉容器内の二酸化炭素濃度が 60000ppm を超えた場合に行うことを基本に、毎回のガス分析後に判断することとした。

毎回のガス分析では、室内空気の分析も行うようにした。

3.3.2 結果および考察

3.3.2.1 泥炭土の分析

表 4 に泥炭土の分析結果を示した。いずれの分析項目においても、培養処理の前後で大きな変化は認めら

表 4 泥炭土の分析結果

分析のタイミング	処理区	含水率(%)	風乾水分(%)	灼熱損失(%)	pH(H ₂ O)	全炭素(%)	全窒素(%)
原土の水分と pH の調整後	対照区	88	1.0315	94	4.7	39.01	2.19
	pH調整区	75	1.0288	92	6.5	38.16	2.19
	水分調整区	88	1.0339	92	4.1	38.85	2.19
	水分pH調整区	74	1.0297	92	6.5	39.28	2.18
有機物分解培養処理(=ガス分析)後	対照区	—	1.0307	91	4.6	36.55	2.24
	pH調整区	—	1.0273	90	6.5	39.78	2.40
	水分調整区	—	1.0352	89	4.1	38.69	2.17
	水分pH調整区	—	1.0335	92	6.5	39.31	2.07

れない。後述するように、培養容器内の二酸化炭素濃度は上昇しており、泥炭土の分解が進行していたことは明らかである。しかし、9週間程度の短期間での「泥炭土の分解=有機物のガス化」は、一般分析項目の数値を変動させるほどの大きな変化ではないためと考える。

3.3.2.2 ガス分析

ガス分析の経過を表5に示した。供試体を作成して恒温機に静置した日を経過日数0日として、その後、経過日数何日目でガス分析を実施したのかという履歴を実験区毎に示した表である。空気置換は6週目に実施した。このことから、空気置換を実施するまでの6週間を第1期、空気置換後の3週間を第2期と区別することとした。

表5 ガス分析の経過

週目	経過日数	第1期	第2期	実験区			期別
				5g区	10g区	15g区	
	0			供試体作成と恒温機への投入			
1週目	8			ガス分析			
	9			ガス分析			
	10				ガス分析		
	11					ガス分析	
2週目	15			ガス分析			
	16			ガス分析			
	17				ガス分析		
	18					ガス分析	
3週目	22			ガス分析			
	23			ガス分析			
	24				ガス分析		
	25					ガス分析	
4週目	29			ガス分析			
	30			ガス分析			
	31				ガス分析		
	32					ガス分析	
5週目	36			ガス分析			
	37			ガス分析			
	38				ガス分析		
	39					ガス分析	
6週目	43			ガス分析 空気置換			
	44			ガス分析 空気置換			
	45				ガス分析 空気置換		
	46					ガス分析 空気置換	
7週目	7			ガス分析			
	7			ガス分析			
	7				ガス分析		
	7					ガス分析	
8週目	14			ガス分析			
	14			ガス分析			
	14				ガス分析		
	14					ガス分析	
9週目	21			ガス分析 試料取出			
	21			ガス分析 試料取出			
	21				ガス分析 試料取出		

処理区ごとの二酸化炭素濃度の変動を図21に示した。図示した二酸化炭素濃度は、分析時点の密閉容器内の空気中の二酸化炭素濃度である。これらの図から、以下の特徴を読み取ることができる。

① 1週目に二酸化炭素の濃度ピークが生じるが、このピークは2週目には減少し、3～5週目にかけて上昇し、6週目に若干低下する傾向にある。この傾向は処理区において顕著であるが、対照区においても見られる。

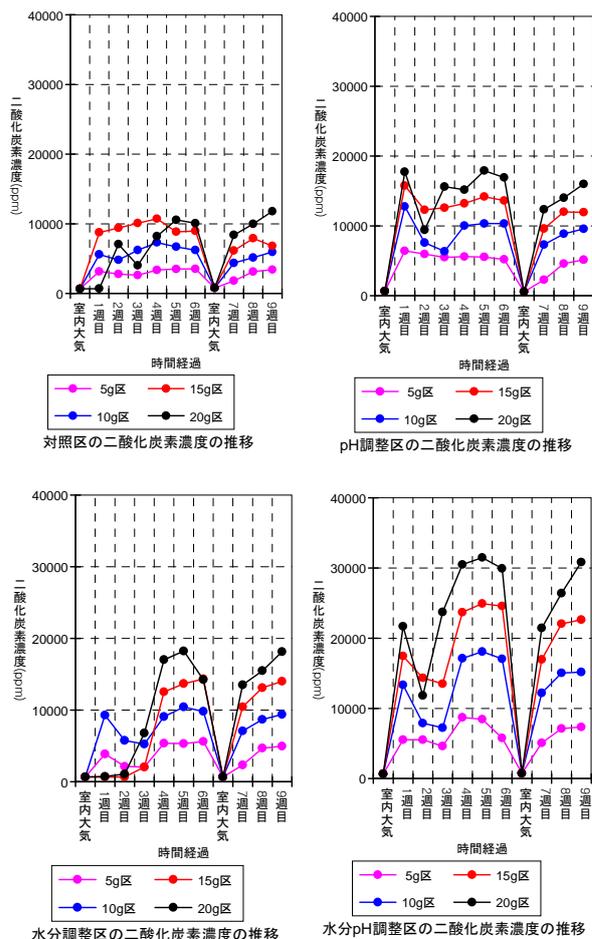


図21 処理区別の二酸化炭素濃度の推移

② 供試した泥炭土量が多いほど二酸化炭素濃度は濃い傾向にあるが、重量比率と濃度比率は相関している傾向にある。

③ 供試した泥炭土量が同量であれば、二酸化炭素濃度の濃さの順位は、以下の傾向にある。

対照区 < pH調整区 = 水分調整区 < pH水分調整区

pH および水分調整により泥炭土の分解が促進したと言える。

3.3.2.3 泥炭土分解量と分解速度の計算

容器内で濃度が上昇した二酸化炭素の炭素源は、容器内に封入した泥炭土でしかありえない。二酸化炭素濃度の上昇量は微生物により泥炭が分解・ガス化した量と言える。しかし、図21に示したような濃度の変動があり、泥炭土の分解は斉一とは言えない。特に、『1週目のピーク、その後の濃度低下、濃度上昇の再起と定常化』という二酸化炭素濃度の推移は、メタン発酵のメタンガス濃度や二酸化炭素濃度の推移においても頻繁に見られる現象である。この現象は、微生物の棲息環境に変化が生じた場合、一時的な異常増殖が生じて代謝産物も増加するが、その後自然淘汰されて低

減し、再び適正レベルに増殖していくためと考えられる。つまり、処理区での最初の2週間は、容器内の微生物群相の安定に要した期間であることから、泥炭土の分解日数から控除することとした。

泥炭土分解速度を計算するための二酸化炭素濃度上昇の始期と終期と期間は以下のように定めた。

第1期

二酸化炭素濃度の始終期：供試体作成時の室内空気
の二酸化炭素濃度から5週目の容器内濃度

分解に要した期間：3～5週目までの21日間

第2期

二酸化炭素濃度の始終期：空気置換時の室内空気
の二酸化炭素濃度から9週目の容器内濃度

分解に要した期間：7～9週目までの21日間

分解した泥炭土の重量(Pw)は、二酸化炭素の濃度上昇量から以下の式で計算した。計算結果は表6に示した。

$$C_w = (C_c / 1000) \times 0.5 \times (44 / 22.4) \times (273 / 273 + 37) \times (12 / 44)$$

$$= C_c \times 0.23588 \times 10^{-3}$$

ただし、

C_w = 容器内でガス化している炭素重量(mg・C)

C_c = 上昇した二酸化炭素濃度(ppm)

1000 = 単位補正係数

0.5 = 密閉容器容積(L)

44 = 二酸化炭素分子量

22.4 = 気体定数(L(1atm0°C))

273 = 絶対零度(°C)

37 = 培養温度(°C)

12 = 炭素原子量

$$P_w = C_w \times P_c \times W_t$$

ただし、

P_w = 二酸化炭素の炭素源となった泥炭の重量(mg)

C_w = 容器内でガス化している炭素重量(mg・C)

P_c = 泥炭土の炭素率(%)

W_t = 泥炭土の含水率(wt%)

3.3.2.4 分解に伴う地盤沈下量の試算

分解速度(mg/g/年)は、1gの泥炭土から1年間でガス化消失する泥炭土の量をmgで示した値である。対照区=6.3、pH調整区=10.8、水分調整区=12.6、水分pH調整区=18.1(mg/g/年)と計算された。

現地の新鮮な泥炭土の平均重量は10cm立方で960gであった。泥炭塊が均質とすれば、1mmの厚さで9.6gとなる。

水分pH調整区の分解速度=18.1mg/g/年から、10cm立方の泥炭塊からは17.376g/年の分解消失が生じることとなり、9.6g/mmで除すると、1.81mm/年という厚さの減少となる。

泥炭土の分解消失が泥炭土の表面を削るように均一に生じるという仮定の基であるが、以下の試算結果となった。

対照区=0.63mm/年 pH調整区=1.08mm/年 水分調整区=1.26mm/年 水分pH調整区=1.81mm/年

表6 二酸化炭素の濃度上昇から計算した泥炭の分解量と分解速度

処理区	実験区	炭素率 (%)	含水率 (%)	第1期				第2期				分解量 [単位ガス化量の平均値] (mg/g)	分解速度 (mg/g/年)
				二酸化炭素濃度上昇量 (ppm)	ガス化した炭素重量 (mg)	ガス化した泥炭土重量 (mg)	単位ガス化量 (mg/g)	二酸化炭素濃度上昇量 (ppm)	ガス化した炭素重量 (mg)	ガス化した泥炭土重量 (mg)	単位ガス化量 (mg/g)		
対照区	5g区	39.01	88	2844	0.671	1.954	0.391	2629	0.620	1.806	0.361	0.36	6.28
	10g区	39.01	88	6044	1.426	4.153	0.415	5163	1.218	3.548	0.355		
	15g区	39.01	88	8195	1.933	5.631	0.375	6031	1.423	4.144	0.276		
	20g区	39.01	88	9900	2.335	6.802	0.340	11009	2.597	7.565	0.378		
pH調整区	5g区	38.16	88	4886	1.153	3.432	0.686	4582	1.081	3.219	0.644	0.62	10.77
	10g区	38.16	88	9665	2.280	6.789	0.679	9017	2.127	6.334	0.633		
	15g区	38.16	88	13520	3.189	9.497	0.633	11381	2.685	7.994	0.533		
	20g区	38.16	88	17245	4.068	12.113	0.606	15434	3.641	10.841	0.542		
水分調整区	5g区	38.85	75	4646	1.096	3.761	0.752	4287	1.011	3.471	0.694	0.72	12.56
	10g区	38.85	75	9765	2.303	7.905	0.791	8715	2.056	7.055	0.706		
	15g区	38.85	75	13017	3.070	10.538	0.703	13334	3.145	10.794	0.720		
	20g区	38.85	75	17564	4.143	14.219	0.711	17468	4.120	14.141	0.707		
水分pH調整区	5g区	39.28	88	7786	1.837	5.313	1.063	6593	1.555	4.499	0.900	1.04	18.06
	10g区	39.28	88	17417	4.108	11.885	1.189	14419	3.401	9.839	0.984		
	15g区	39.28	88	24272	5.725	16.563	1.104	21885	5.162	14.934	0.996		
	20g区	39.28	88	30827	7.271	21.036	1.052	30086	7.097	20.531	1.027		

3.4 泥炭農地の長期にわたる地盤沈下の実態把握⁵⁾

泥炭農地は排水に伴い地盤沈下を引き起こすことが知られている。地盤沈下の進行は圃場内の地下水位を相対的に上昇させることとなり、排水不良や湿害など営農に支障を与える原因となる。それゆえ、沈下の進行を抑制する泥炭農地の管理手法が求められる。しかし、造成時からの長期にわたる観測事例はほとんどなく、その沈下の実態は十分に把握されていない。

B 町内の泥炭農地（草地）は、1961 年の造成後 1975 年まで実験農場として実際に営農を行うとともに水準測量や地下水位観測など各種調査が実施された⁸⁾。その後、1999 年に圃場面の水準測量が実施され、圃場面の沈下は 1975 年時点よりさらに進行していることが確認された。そこで、同農場（以下、「調査圃場」）において観測を継続し、農地造成後から今日に至るまでの地盤沈下の実態とその土壌の物理性の把握を目的として調査を実施した。

3.4.1 調査方法

図 22 に調査圃場の概要及び本調査における水準測量と土壌調査箇所を示す。本調査圃場は数百 m 四方の領域で、周囲を基幹排水路で囲まれ、圃場内には約 50m ～100m 間隔で集水路が掘削されている。また、同圃場は主に 1961 年より造成された北側ブロックと 1963 年より造成された南側ブロックに分けられ、両ブロックにおいて各種調査が重点的に実施されてきた。

3.4.1.1 水準測量

2009 年 10 月に調査圃場内の過去の水準測量地点 No. 1～No. 38 地点において水準測量を行い、2010 年 10 月には道路面の水準測量を行った。ただし、1980 年代にそれまで無客土であった圃場面に客土が施工されているので、1999 年及び 2009 年の圃場面の標高は、その客土層厚 10cm を差し引いて補正した。

3.4.1.2 土壌調査

土壌調査は 2009 年と 2010 年において、機械ボーリングによるシンウォールサンプリングを 10 箇所、ハンドオーガーによる断面調査を 4 箇所で行った。シンウォールサンプリングは、泥炭層とそれ以深のシルト質粘土層あるいはシルト層まで実施し、土壌の物理性に関する分析（乾燥密度、自然含水比、土粒子の密度、強熱減量、炭素量）を行った。また、F、G、H 地点のボーリング調査は、造成当時の農場施設における井戸掘削のボーリング柱状図と対比するため約 15m まで掘削した。

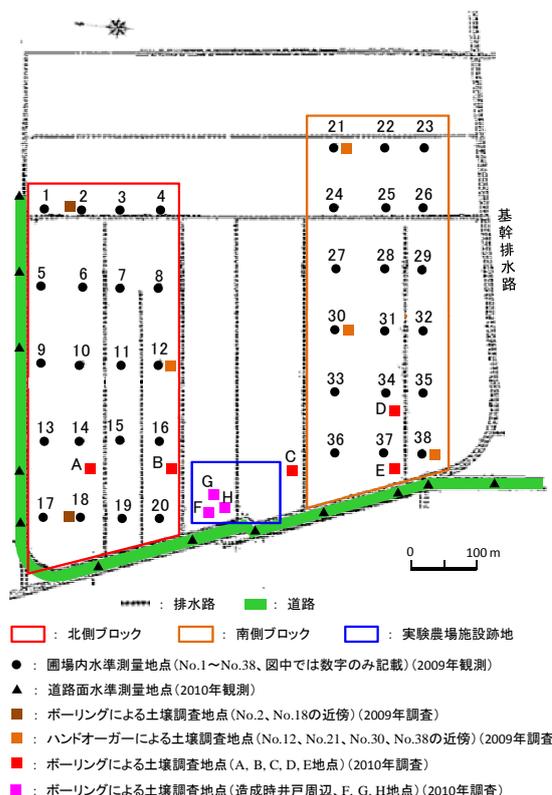


図 22 調査圃場の概要及び調査箇所

3.4.2 結果と考察

3.4.2.1 圃場面標高の経年変化

農地造成直後の 1961 年（南ブロックは 1963 年）から 1999 年までの既存の水準測量結果に 2009 年の測量結果を加えて、本調査圃場面上 38 地点の経年的な標高の推移について把握した。図 23 と図 24 にそれぞれ No. 12 地点（北側ブロック内）及び No. 30 地点（南側ブロック内）における圃場面標高の経年変化を示す。両地点ともに造成直後より地盤沈下が生じており、現在もなお、その沈下が継続的に進行していることが示された。他のすべての水準測量地点についても同様な沈下の進行を示す結果であった。図 25 に北側ブロック（No. 1～No. 20）と南側ブロック（No. 21～No. 38）の各地点の平均標高の経年変化を示す。北側ブロックの平均標高は 1961 年の農地造成後 48 年間に 6.93m から 5.15m となり、約 1.78m の地盤沈下を生じた。その沈下速度は、農地造成後の 12 年間において 6.2cm/年、その後の 36 年間において 2.9cm/年であった。南側ブロックの平均標高は、1963 年の農地造成後 46 年間に 6.96m から 5.60m となり、約 1.37m の地盤沈下を生じた。その沈下速度は、農地造成後の 10 年間において 4.7cm/年、その後の 36 年間において 2.5cm/年であった。

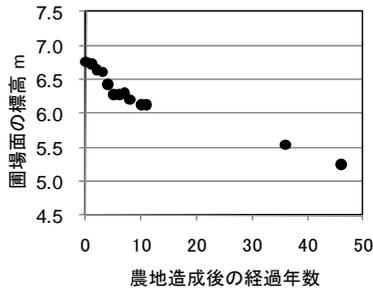


図 23 No. 12 地点の標高の経年変化

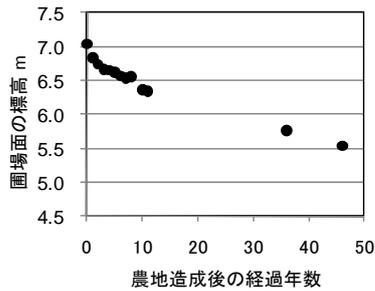


図 24 No. 30 地点の標高の経年変化

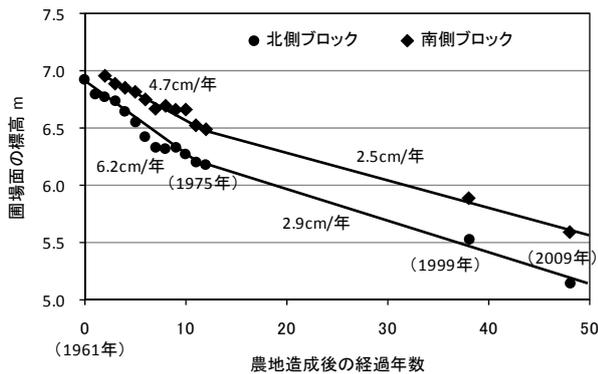


図 25 全観測地点の平均標高の経年変化

3.4.2.2 圃場地盤標高の面的分布

1961年造成直前の調査圃場面における標高分布（等高線）を図26に示す。ただし、圃場や道路の形状は現在のものである。農地造成前の地盤標高は西側へ向かって傾斜しており、調査圃場の東側端と西側端の標高差は約1mであった。図27に2009年の本調査圃場面の標高分布を示す。図中の数値はNo.1～No.38各観測地点（No.の記載は省略）の標高を示す。造成直前と異なり、圃場面全体の標高は北側に向かって低くなる傾向となった。その最高位は5.81m、最低位は4.68mであり、その差は1.13mであった。図28には造成当初と現在（2009年）の圃場面標高差から求めた地盤沈下量を

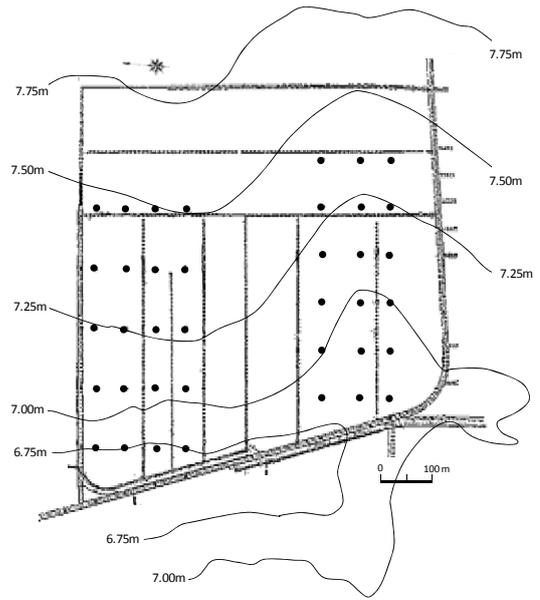


図 26 1961年の農地造成直前の標高

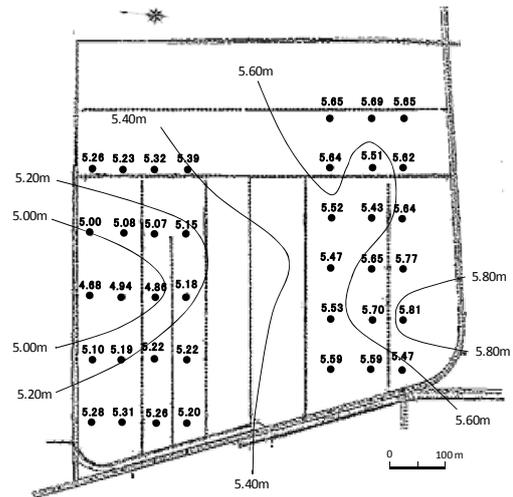


図 27 2009年の調査圃場の標高

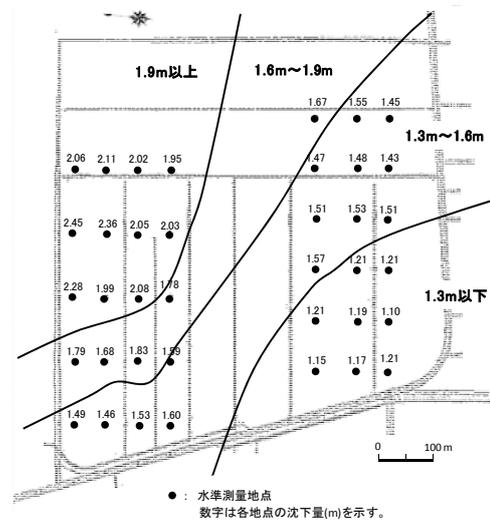


図 28 地盤沈下量の分布

示す。圃場面の沈下量は北東方向に向かって増加する傾向が確認された。また、同様な地盤沈下量の分布傾向が、1999年時点の水準測量結果からも確認されている⁹⁾。

以上のような圃場面沈下の一定傾向には、本調査圃場の北側ブロックと南側ブロックの造成時からの排水の経緯が関連していると考えられる。表7に造成当時の排水に係る北側ブロックと南側ブロックの履歴を示す。また、表中の圃場名及び地下水位観測地点を図29に示す。全般に北側ブロックが南側ブロックより先行して排水及び排水改良がなされた。北側ブロックでは1961年～62年にかけて造成が行われ、圃場内の集水明渠及び切断暗渠が施工された。南側ブロックでは1963年～65年にかけて造成及び排水が行われた。1964年からは北側ブロックの一部において排水効果が低下してきたために切断暗渠の掘削が再施工された。1966年には圃場外周の基幹排水路が整備されたことにより、北側ブロックで大規模な集水明渠の改修が行われた。1967年には南側ブロックのIIA圃場のみにおいて塩ビ管の暗渠が試験的に施工された。

こうした北側ブロックと南側ブロックの排水の経緯の相違が、その後の地下水位の状態に反映していると考えられる。圃場内の地下水位は造成時より調査完了年(昭和50年)まで断続的に観測されており、その観測結果によれば北側ブロック内の標高地下水位は、南側ブロック内の標高地下水位より平均して低い状態にあることが確認されている。その一例として、1974年(昭和49年)観測の標高地下水位および地下水位(圃場面からの地下水位の深さ)の観測(図29)について、図30に渇水位の状態を、図31に豊水位の状態を示す。渇水位及び豊水位ともに北側ブロックと南側ブロックの地下水位の差は小さいが、標高地下水位は北側ブロックのほうが南側ブロックよりも渇水位、豊水位それ

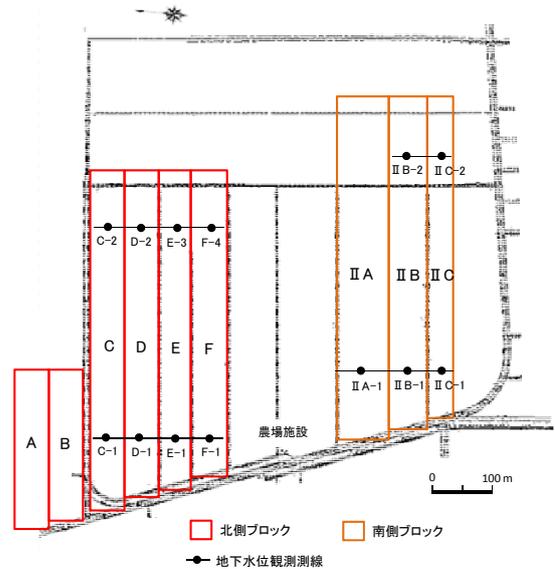


図29 造成当時の圃場名と1974年の地下水位観測

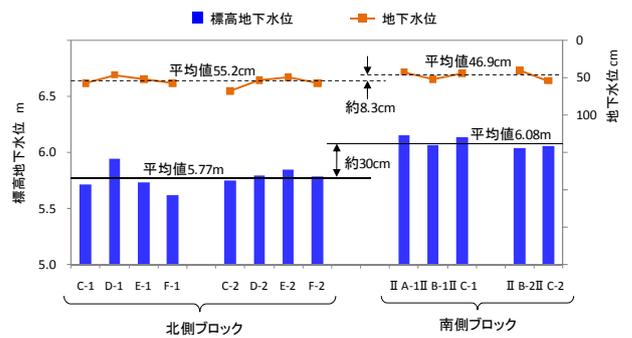


図30 渇水位の地下水位(1974年7月24日)

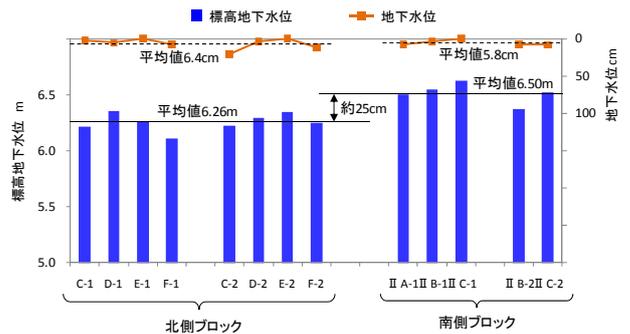


図31 豊水位の地下水位(1974年8月14日)

表7 造成当時の排水に係る履歴

年度	北側ブロック	南側ブロック
1961年度	C～F圃場の造成及び排水 集水明渠の掘削(切深:50～70cm) 切断排水の掘削(切深:60～70cm)集水明渠を横断、10m間隔	未墾
1962年度	A, B圃場の造成及び排水 集水明渠の掘削(切深:50～70cm) 切断排水の掘削(切深:60～70cm)集水明渠を横断、10m間隔	未墾
1963年度		IIA圃場の造成及び排水 集水明渠の掘削(切深:50～70cm) 切断排水の掘削(切深:60～70cm)集水明渠を横断、10m間隔
1964年度	C～F圃場(F圃場の東半分を除く)の切断排水掘削の再施工	II B, II C圃場の造成(切断排水の施工はなし) II A圃場の西側約1/3の切断排水掘削
1965年度	A, B及びF圃場の東半分の切断排水掘削の再施工	II A圃場の東側約2/3の切断排水掘削及びII Bの切断排水掘削
1966年度	幹線排水路及び北側ブロックの集水明渠の改修(切深を0.7から1.8mまで掘削)	
1967年度		II A圃場に塩ビ管の暗渠を施工

ぞれ平均30cm、25cm低い状態であった。同年の圃場面標高を図32に示す。北側ブロックは南側ブロックの領域と比較して低い標高となっている。こうした圃場面の標高分布の変化は、図30と図31に示した標高地下水位の状態に対応していると考えられる。泥炭農地では排水による地盤沈下が知られているが、以上の結果は圃場内の標高地下水位が地盤沈下量を規定している

ことを示唆する。図 33 には 1999 年の標高分布を示すが、北側ブロック側の標高が低い傾向はさらに明瞭になっており、図 27 に示す現状（2009 年）の標高分布に至っていると考えられる。

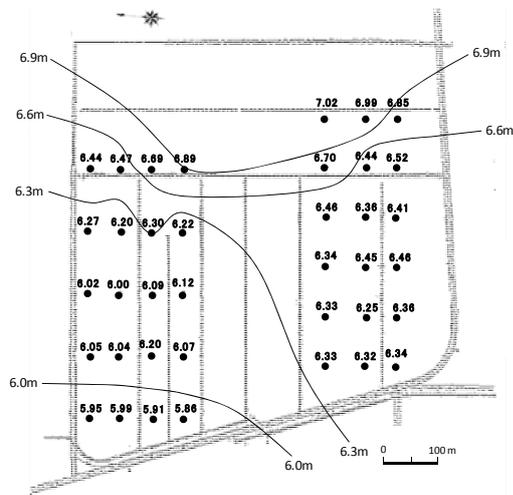


図 32 1974 年の調査圃場の標高

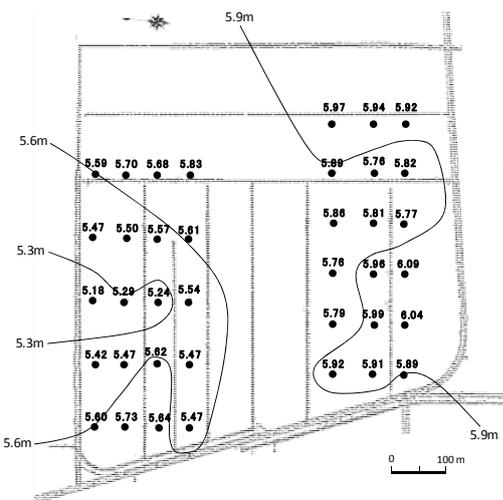


図 33 1999 年の調査圃場の標高

3.4.2.3 S36 年井戸ボーリング柱状図との土層対比

1961 年の造成当初に実験農場施設の井戸掘削のためのボーリング柱状図と現状の柱状図を対比して、地盤沈下に関与した土層を探索した。図 34 に 1961 年掘削の井戸ボーリング柱状図とその近傍の F、G、H 地点において掘削したボーリング柱状図を示す。ここでは各ボーリング位置の圃場面標高（井戸ボーリングは 1961 年当時の標高）を基準として対比した。現状（F、G、H 地点）のボーリング柱状図のシルト質粘土層の下端と井戸ボーリング柱状図の泥炭層下端の標高がほぼ

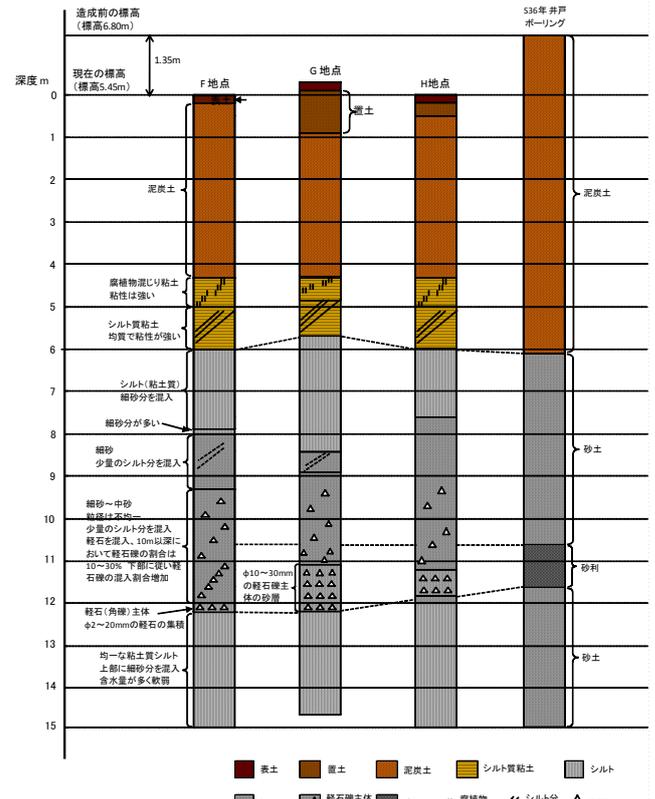


図 34 1961 年井戸掘削時のボーリング柱状図と現状のボーリング柱状図との対比

一致した。現状ボーリングにおいて採取したシルト質粘土層は腐植物が混合した粘性の高い粘土であり、井戸ボーリング柱状図では、その粘土層も含めて泥炭層と分類されたものと考えられる。また、井戸ボーリングにおいて砂利層と記載されている標高には、現状のボーリングにおいて軽石礫を多く含むまたは軽石礫主体の砂層が現れており、両者の記載は異なるものの同一の土層と考えられる。さらに、現状のボーリングにおいて軽石礫層の前後のシルト層は、細砂分の混入がみられるので、井戸ボーリングの砂土にそれぞれ対応するものと考えられる。

以上の対比から、造成当初の井戸ボーリングの柱状図と現状のボーリング柱状図は、泥炭層（+シルト質粘土層）以外ではほぼ対応することが確認された。井戸ボーリングと現状ボーリングの泥炭層の層厚を比較すると、F 地点で層厚差は約 1.5m であり、圃場面全体の沈下量 1.3m~1.7m と一致し、地盤沈下はほぼ泥炭層厚の変化によるものと考えられる。G 地点と H 地点については表土の直下に置土が施工されており、その荷重によりそれぞれ井戸ボーリングとの泥炭層厚差が 2.2m、1.7m と F 地点より大きく変化しているものと考えられる。このことから圃場面沈下の主要な原因は泥炭層にあり、それ以外の土層は変化を受けておらず、

地盤沈下にほとんど関与していないことが示された。

3.4.2.4 圃場内の土壌調査

3.4.2.4.1 土壌断面

2009年度実施 (No. 2、No. 12、No. 18、No. 21、No. 30、No. 38 各地点) の土壌調査及び2010年度実施 (A、B、C、D、E 各地点) の土壌調査の結果と造成当初からの地盤沈下量及び標高を図35及び図36に示す。表層約10cm~20cmは客土及び客土と泥炭との混合土であり、その直下に泥炭層、それ以深は腐食混じりのシルト質粘土層及び均質なシルト質粘土層であった。泥炭層厚は調査地点により異なっており、約200~400cmであった。現在の泥炭層厚に地盤沈下量を加えて造成当初の泥炭層厚を推定すると、約300cm~550cmであったと考えられる。造成当初における本調査圃場内の泥炭層厚に関するデータはないが、圃場近傍において調査された柱状図⁸⁾を参照とすると、当時の泥炭層厚は約550cmであり、上記の泥炭層厚の推定値と整合する。また、泥炭層厚に関わりなくほぼ一定の標高まで沈下していることが認められ、沈下量と泥炭層厚の明確な相関関係はみられない。すなわち、沈下量は圃場内の標高地下水水位等により規定されていると考えられる。

3.4.2.4.2 土壌分析

調査圃場内 No. 2、No. 18 地点及び A~H 地点で実施したシンウォールサンプリング (不攪乱試料) におい

て土粒子密度、乾燥密度、含水比、強熱減量、炭素量の分析を行った。泥炭層の土粒子の密度及び乾燥密度は、それぞれ平均 $1.6\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $0.11\text{g}/\text{cm}^3$ であり、含水比は600~1100%、強熱減量は60~95%、炭素量は20~60%であった。各調査地点による値のばらつきはみられるものの、それぞれ鉛直方向に同様の物理性の変化の特徴が認められた。とくに間隙比において明瞭な特徴が示された。間隙比は土粒子の密度と含水比より算出される。図37~図44に各調査地点の沿直方向の間隙比と強熱減量の分布を示す (G及びH地点は表土に加え置土が施工されており、他の調査地点と同列に比較できないと考え除外した)。地表から深さ約1mまでの泥炭層の間隙比は12~14で、各地点ともその直下の約1~2mの泥炭層の間隙比(15~19)より小さい値を示す。前者の間隙比の平均は12.37、後者のそれは16.67でその差は4.30であった。この泥炭層上部の間隙比の小さい領域は、造成以来の泥炭の圧密または乾燥収縮を反映した状態と推察される。同様な間隙比の小さいところがNo.18地点とF地点の3~4m、A地点、B地点及びE地点の2~3mの領域にもみられるが、それらの強熱減量は40%~70%であり、その上層部の泥炭の強熱減量より小さい値を示していることから、この場合は泥炭層への土粒子混入による間隙比の低下と考えられる。

以上の土壌分析により示された泥炭層の間隙比の沿直分布は、地盤沈下の主要因である圧密や乾燥収縮が泥炭層上部においてとくに大きいことを示唆するものと考えられる。それは泥炭農地の地盤沈下が泥炭層全体の一様な圧縮ひずみによるものではないことを示し、泥炭層厚と地盤沈下量の相関性がみられないことと整合する。

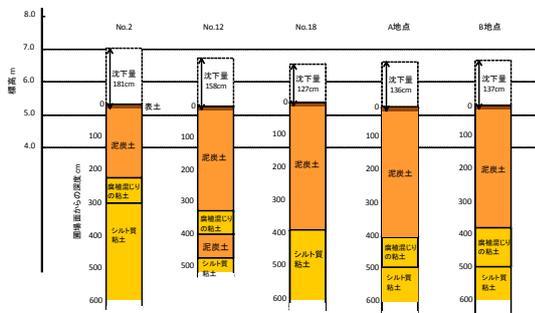


図35 北側ブロックの土壌調査地の柱状図

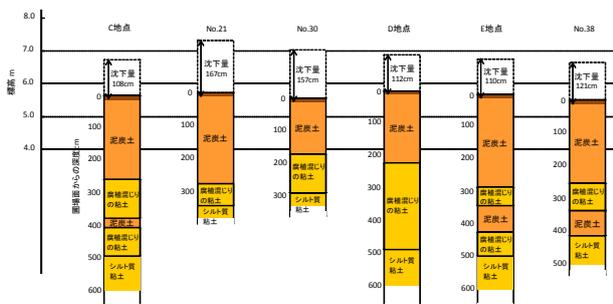


図36 南側ブロックの土壌調査地点の柱状図

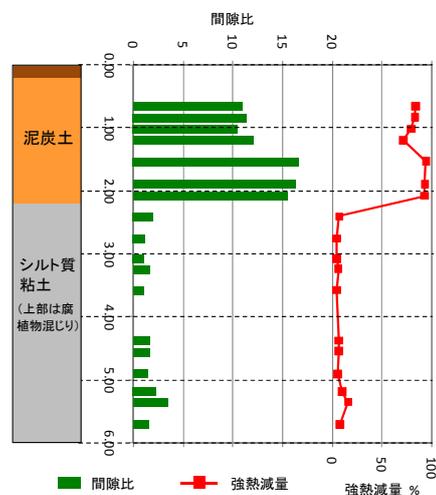


図37 No. 2 地点における土壌の間隙比と強熱減量

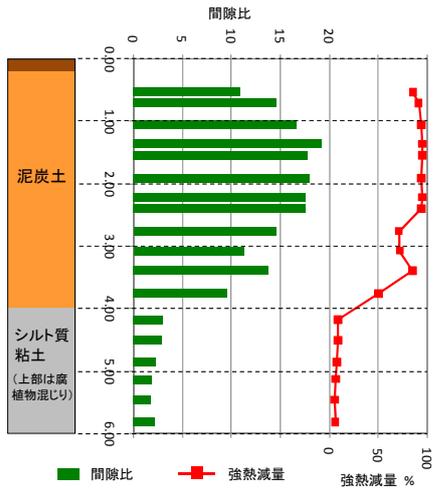


図 38 No. 18 地点における土壌の間隙比と強熱減

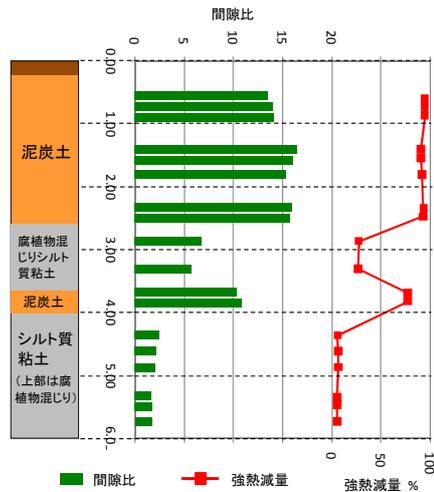


図 41 C 地点における土壌の間隙比と強熱減量

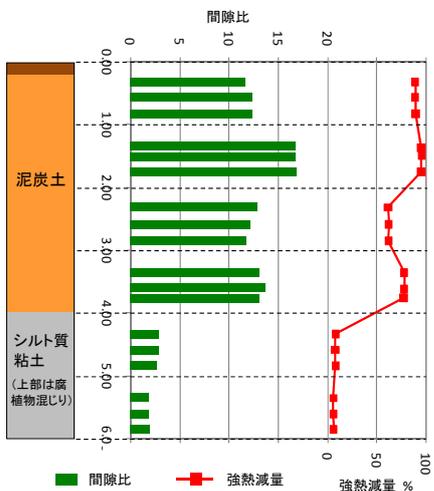


図 39 A 地点における土壌の間隙比と強熱減量

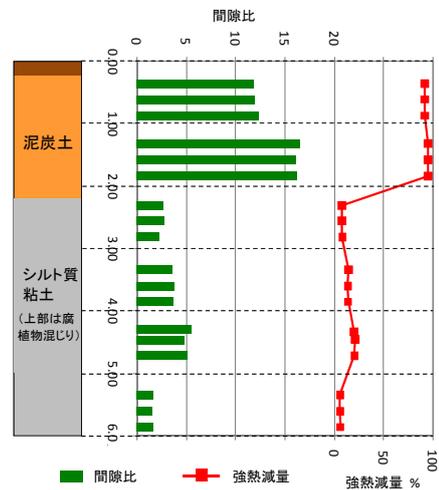


図 42 D 地点における土壌の間隙比と強熱減量

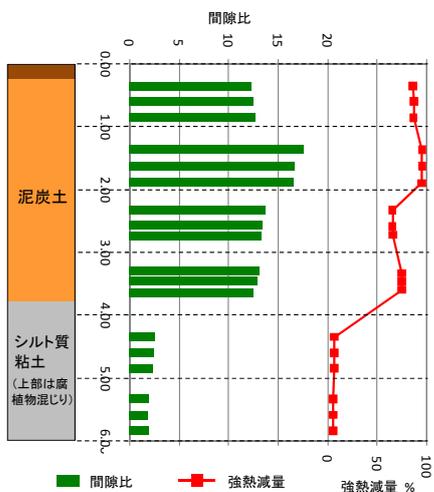


図 40 B 地点における土壌の間隙比と強熱減量

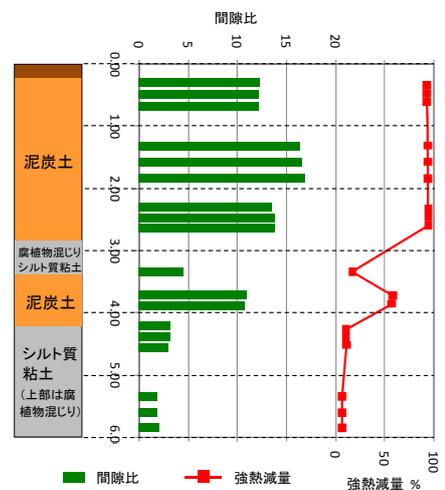


図 43 E 地点における土壌の間隙比と強熱減量

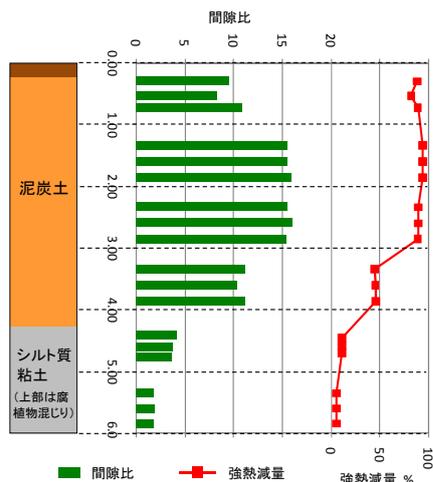


図 44 F 地点における土壌の間隙比と強熱減量

4. 泥炭農地域の耕作道路・小排水系統の実態調査と再整備手法の提案¹⁾

過湿な泥炭地を農用地として利用するためには、排水改良や客土などが必要不可欠とされ、作物の生産性や作業効率の向上が図られてきた。しかし、これら泥炭農地の一部においては、排水にともなう地下水位の低下が、泥炭の圧密や乾燥収縮、ひいては泥炭自体の分解消失などを進行させることによって、地盤の不均一な沈下が次第に顕著となり、営農上支障をきたすようになっている。

ここでは、圃場に隣接する小明渠排水路と沈下量との関係を明らかにするため、図 1 で示した圃場での測量結果を用いて、排水路からの距離と沈下量との関係を解析した。また、一次造成から約 18 年経過した道北地方の泥炭農地における測量結果を整理し、沈下量を算出した。さらに、耕作道路と圃場面での長期にわたる測量結果から沈下の特徴を整理した。

4.1 排水路

排水路からの距離毎の沈下量を図 45 に示した。隣接圃側（排水路からの距離：90m）の測線では観測を開始してから 3 年間の標高は観測開始時の値より大きく、それ以降も沈下と上昇が認められ、観測開始の 1997 年 8 月から 2003 年 11 月までの平均沈下量は 1 cm である。一方、この期間での小明渠側の沈下量は 8 cm に達する。このように排水路に近い測線ほど沈下量は大きく、遠い測線ほど沈下量は小さい。2008 年 10 月の沈下量は隣接圃場側で 7cm、小明渠側で 11cm であり、差はやや小さくなったものの、排水路に近い部分の沈下が大きかった。

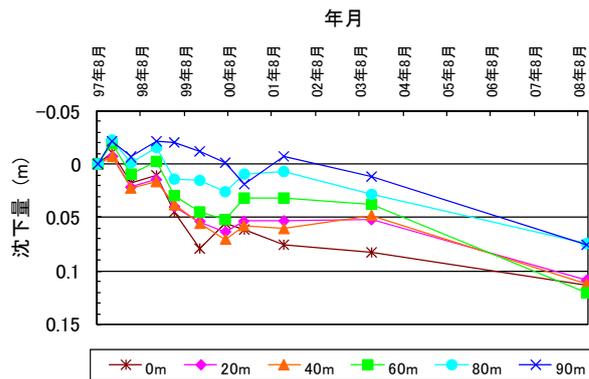


図 45 沈下量の平均値の推移

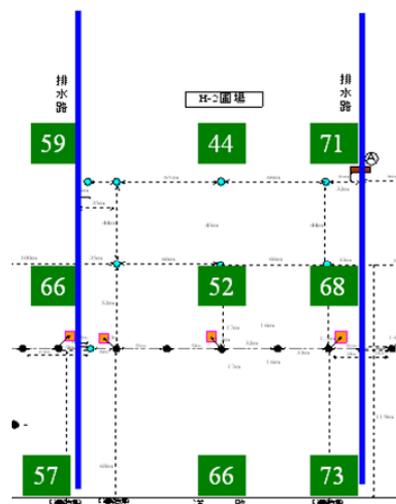


図 46 一次造成後 18 年間で生じた沈下量(cm)

図 46 の白抜きの数字は一次造成から 2005 年秋までの約 18 年間で生じた沈下量である。なお、造成直前の標高が明らかとなっている地点が限られており、図には 9 地点についての沈下量を示している。圃場中央部での沈下量と比較して、排水路近傍での沈下量が大きい傾向を示した。

排水路近傍の地下水位は、圃場中央部より大きく低下していることが明らかとなっており、このことが沈下量の違いに影響を及ぼしていると考えられる。すなわち、排水路水位を堰上げ等により高く維持することで、排水路近傍圃場面の沈下を軽減できる可能性があると考えられる。

4.2 耕作道路

4.2.1 道路面水準測量

3.4 で述べた B 町調査圃場周囲の道路面の水準測量を実施し、造成前の標高と現状の圃場面標高との比較を行った。図 47 に道路面の水準測量位置と造成直前の等高線及び圃場面内の水準測量位置を示す。水準測量

は造成前の標高との比較を行うことから、造成前の既知の等高線が横切る道路面上（図 13 における①、④、⑤、⑥、⑨、⑫地点）を含む 13 地点において実施した。

図 14 と図 15 に造成前の既知の標高、道路面の標高、道路面測量地点付近の圃場面の標高（道路面測量地点の最寄りの圃場内水準測量結果）の比較を示す。造成直前の標高に対して、圃場面と同様に沈下しているが、圃場面より沈下の度合いは小さい。全測量地点における造成前の平均標高と道路面の平均標高の差は 1.25m であり、道路面の平均標高と圃場面の平均標高の差は 0.61m であった。ただし、前項において示したように、北側ブロックは南側ブロックより沈下量が大きく、測量地点④付近では道路面と圃場面の標高差が約 1.5m となっている。圃場周辺道路より圃場面の沈下が大きく、地盤沈下の進行により道路と圃場面との標高差が大きくなっていた。

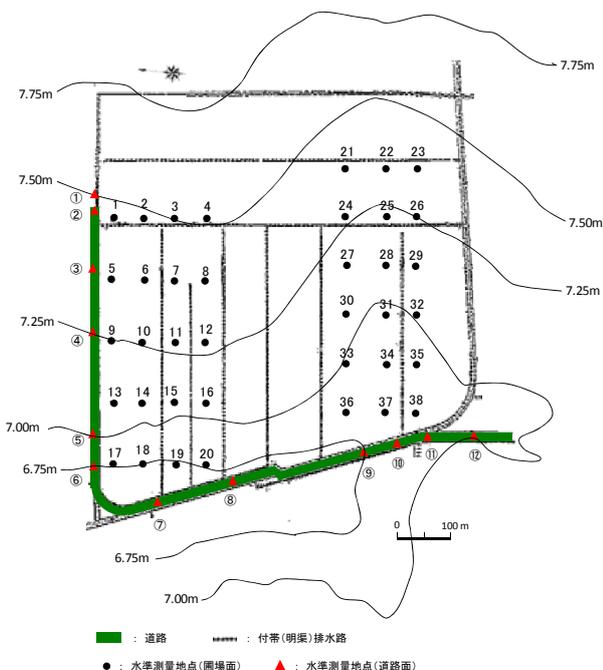


図 47 道路面の水準測量位置

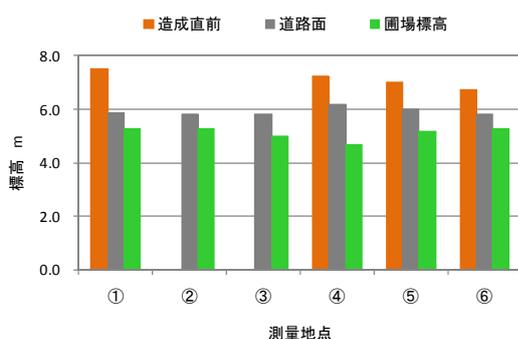


図 48 調査圃場の北側道路面の標高比較

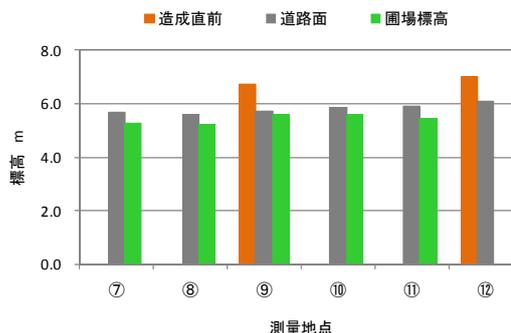


図 49 調査圃場の西側道路面の標高比較

5. 周辺湿原に配慮した泥炭農地の再整備手法の開発

5.1 圃場内地下水位調査 (11, 12, 13, 14, 15, 16)

農地が湿原と隣接する場合、農地の排水を目的として開削された明渠排水路の影響で、湿原側の地下水位も低下することが懸念される。今後、このような圃場の再整備を実施する際には、湿原の地下水位低下への影響を少なくする手法を採用する必要がある。ここでは、農地に付帯する明渠排水路に堰を設けて、排水路内水位を高く保つことにより地下水位低下を抑制する方法を検討した。なお、今回の試験では、明渠排水路水位と泥炭農地内の地下水位を調査し、明渠排水路に貯水することによる泥炭層内の地下水位の影響範囲を推察した。

5.1.1 調査方法

図 50 に調査概要を示す。調査は、B 町の試験圃場のうち、H2 圃場を対象に行った。H2 圃場は、道路と 3 本の排水路に囲まれており、道路から約 170m 南に向かった西側の排水路内に軽量鋼矢板堰を設置し、堰より上流側の排水路水位を高く維持している。

水位計は、排水路と直交する形で東西方向に設置し、堰から約 50m 上流側に位置する測線（以下、処理区と表記）と下流側約 50m に位置する測線（以下、未処理区と表記）の 2 測線で観測を行った。処理区は、西側のみ排水路水位が高く維持されている。一方、未処理区の東側及び西側の排水路水位は、従来どおり低い状態である。排水路水位の観測は西側排水路で 2 地点、東側排水路で 1 地点行った。水位観測には、絶対圧水位計（S&DL mini、5m レンジ）を使用し、15 分間隔で自動計測した。降水量は、B 町のアメダスデータを用いた。

ここでは、処理区と未処理区の観測結果を比較し、

排水路堰上げに伴う圃場内地下水位への影響について、2007年～2010年にかけて観測した水位データを用いて検討した。なお、水位の観測位置、排水路から観測地点までの距離及び観測地点の略式記号については、図27を参照いただきたい。

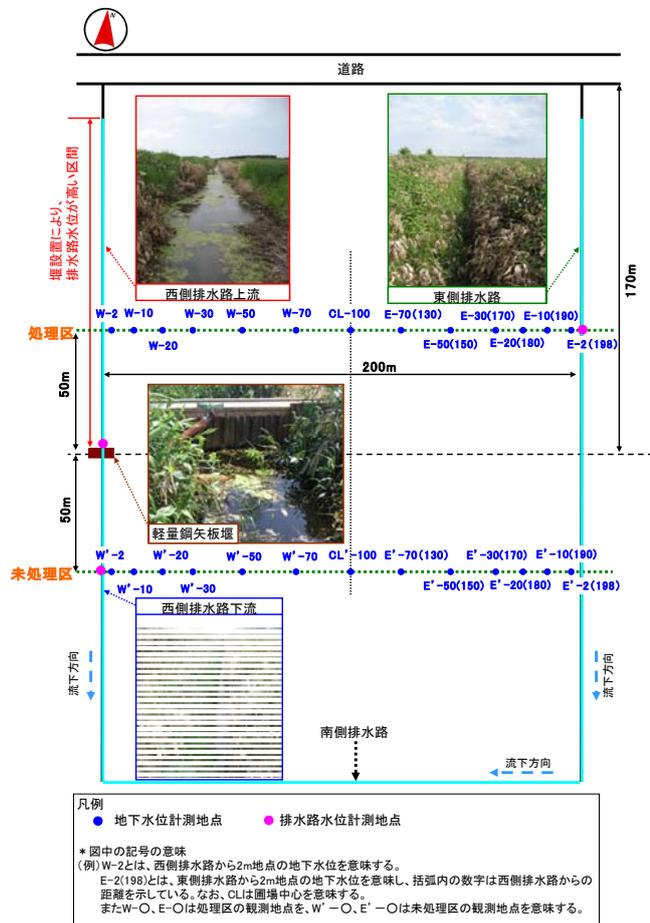


図50 調査概要図

5.1.2 調査結果および考察

5.1.2.1 排水路水位の経時変化

図51に、2010年の東側及び西側上下流の排水路水位の経時変化を示す。なお、排水路水位は標高で示した。西側排水路に設置した堰の天端高は標高5.0mである。2010年の降水量(1167.5mm)は平年並の降水量(過去30年平均:1072.5mm)であった。西側排水路上流の水位は観測期間を通して高く維持され、西側排水路下流の水位より平均1.3m、東側排水路の水位より平均0.8m高く推移した。

図52に、2007年から2010年までの東側及び西側上下流の排水路水位の経時変化を示す。西側排水路上流の水位は観測期間を通して高く維持され、西側排水路下流の水位より平均1.3m、東側排水路の水位より平均0.9m高く推移した。

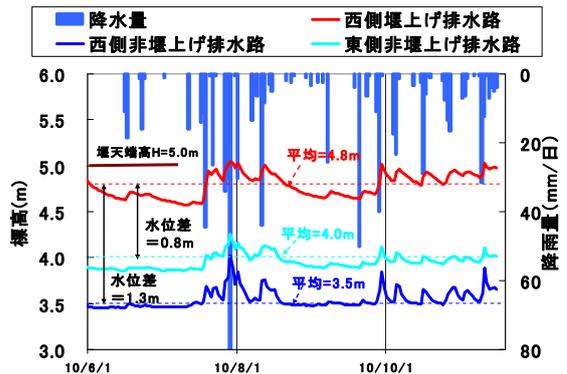


図51 排水路水位の経時変化(2010年)

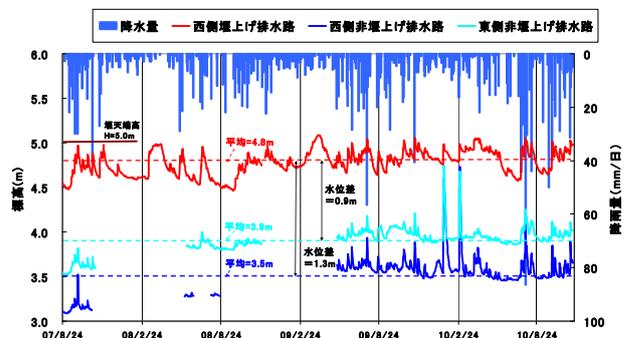


図52 排水路水位の経時変化(2007～2010年)

5.1.2.2 排水路内貯留水が地下水位に及ぼす影響範囲

図53に、2010年の処理区及び未処理区の各観測点における標高水位面、地盤高および排水路水位を示す。標高水位及び排水路水位のデータは、「最も降雨が多いとき」、「長期間降雨の無いとき」、「6月～10月平均値」を使用した。なお、処理区のE-30地点は水位計の不具合からデータを除いた。また、地盤高は地下水位観測孔近傍で測量した値を用い、年平均値を算出した。地表面は局所的に凹凸がみられるが、処理区、未処理区ともにほぼ平坦である。

排水路と標高水位の関係をみると、処理区の東側は排水路の堰上げを行っていないため、排水路に向かい標高水位が大きく低下した。西側は、堰上げによって排水路水位が高く維持されていたため、標高水位の低下が抑制されていた。また圃場内の標高水位は、西側から東側に向かって緩やかに低下していた。一方未処理区は、東側、西側ともに排水路の堰上げを行っていない。このため、両側の排水路に向かい標高水位が大きく低下していた。また圃場内の標高水位は、東側から西側に向かって緩やかに低下していた。

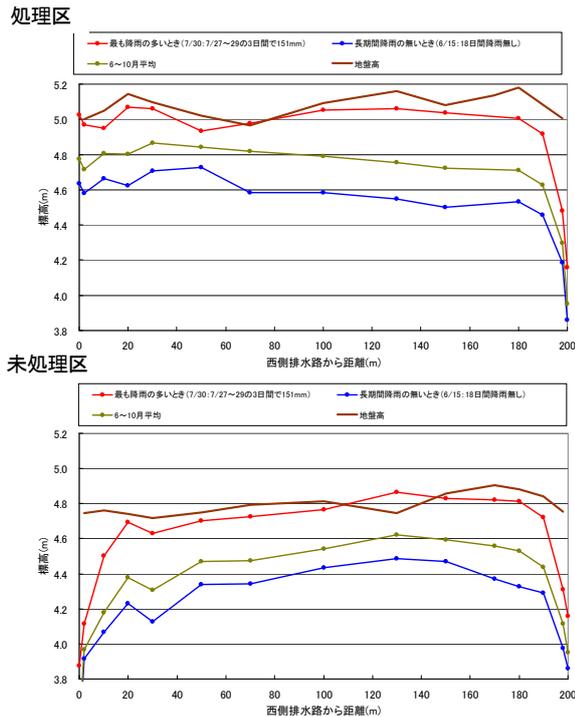


図 53 地下水面と排水路水位(2010年)

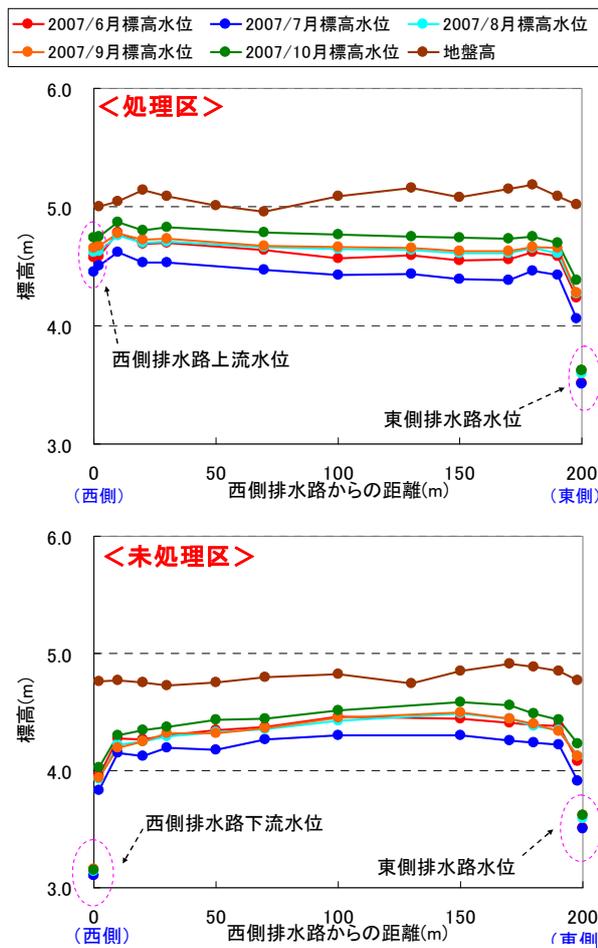


図 54 地下水面と排水路水位(2007年)

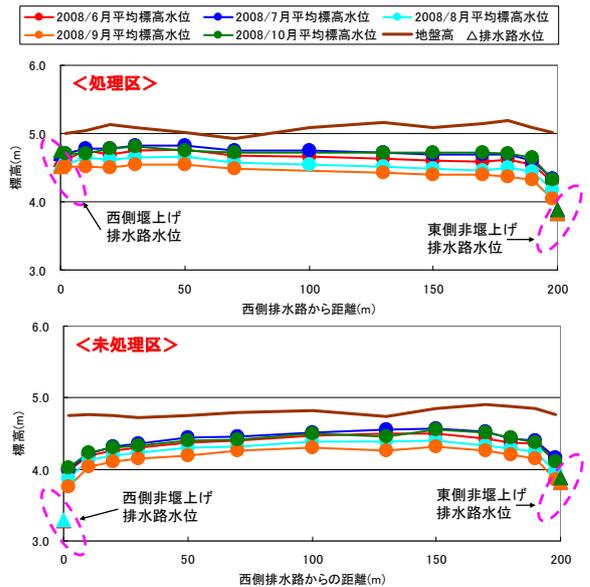


図 55 地下水面と排水路水位(2008年)

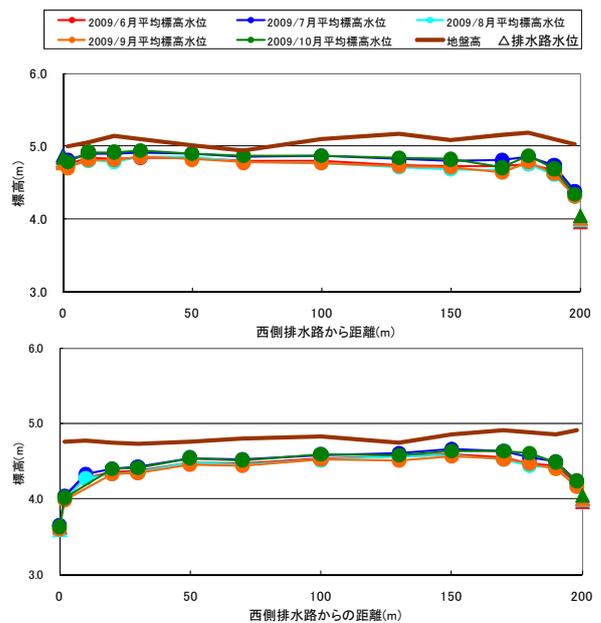
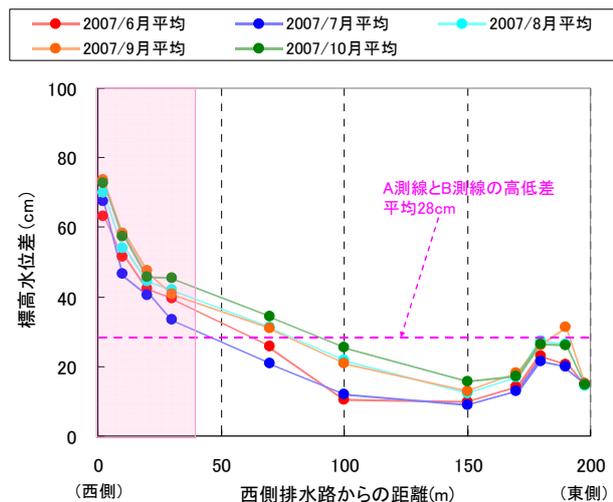
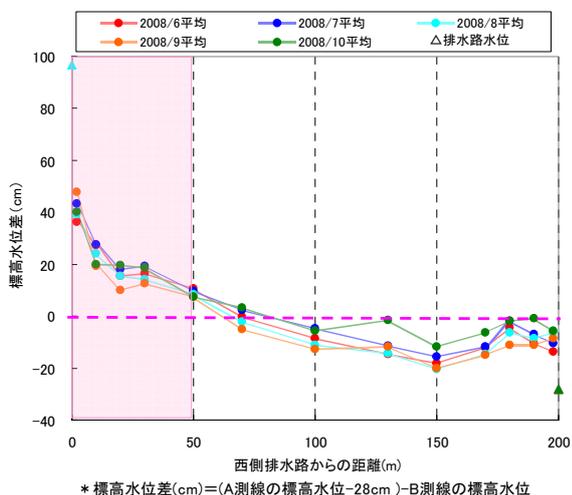


図 56 地下水面と排水路水位(2009年)

図 54~56 に、過年度における処理区及び未処理区
 の各観測点における標高水面、地盤高と排水路水位
 を示す。排水路と標高水位の関係をみると、降水量の
 少ない年などは全体的に標高水位が低いデータが示さ
 れているが 2007 年、2008 年、2009 年のいずれも、
 2010 年と同様の傾向を示した。未処理区の標高水面形
 状が、排水路の堰上げを行う前の処理区の水面形状と
 同様であると仮定すると、堰上げを行うことにより、
 西側排水路から圃場中央部までその影響が及んでい
 ることが示唆された。



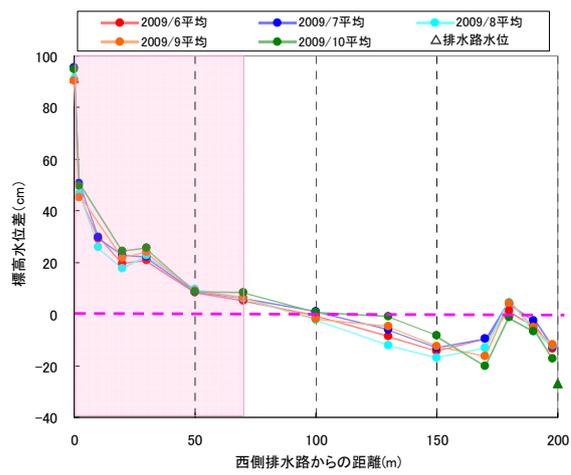
* 標高水位差(cm)=処理区の標高水位-未処理区の標高水位
図 57 西側排水路からの距離に伴う標高水位差の違い(2007年)



* 標高水位差(cm)=(A測線の標高水位-28cm)-B測線の標高水位
図 58 西側排水路からの距離に伴う標高水位差の違い(2008年)

そこで、堰上げを行った排水路が、圃場内の標高水位にどのくらいの範囲まで影響を及ぼすのかを検討するため、堰上げ排水路の影響を受けている処理区と堰上げの影響を受けていない未処理区とを比較する。比較検討にあたっては2通りの方法を試みた。1つめは2007~2009年までのデータを用いて行った、処理区および未処理区の標高水位を比較する方法である。2つめは、2010年度データを用いて行った、処理区および未処理区の降雨後における地下水位低下速度を比較する方法である。

まず、1つめの処理区および未処理区の標高水位を比較する方法についてである。2007年の西側排水路からの距離と、処理区の標高水位から未処理区の標高水位を引いた値（以下、標高水位差と表記）の関係を図



* 標高水位差(cm)=(A測線の標高水位-27cm)-B測線の標高水位
図 59 西側排水路からの距離に伴う標高水位差の違い(2009年)

57に示す。なお、処理区及び未処理区の平均地盤高はそれぞれ5.08m、4.80mであり、処理区と未処理区の間には平均28cmの高低差が生じていた。すなわち標高水位差が28cmの場合は、地表面から地下水面までの距離（以下、地下水位と表記）が処理区と未処理区で同じであることを意味する。また、標高水位差が28cmより大きい場合は、処理区と比べて未処理区の地下水位が低いことを意味し、標高水位差が28cmより小さい場合はその逆を意味する。2007年については、6~7月は降雨が非常に少なかったため、圃場全体の標高水位が低くなった。ただし、図57に示したとおり、西側排水路から約40m地点までは標高水位差が28cm以上を示しており、処理区の地下水位が未処理区に比べて高くなっている。すなわち、少雨時においても約40m地点までは排水路内貯留水が圃場内へ供給されていることが示唆される。2008年および2009年については、処理区の標高水位から両区の高低差を差し引いた値を標高水位差とした。すなわち0cm以上であれば、処理区の水が高いことを意味する。2008年については、図58に示したとおり、西側排水路から約50m地点までは標高水位差が0cm以上を示しており、2009年については、図59に示したとおり西側排水路から約70m地点までは標高水位差が0cm以上を示している。一方、各年とも100m地点より遠方では、未処理区の地下水位が処理区より高くなっている。すなわち、本調査圃場においては降雨による水分供給の多少に関係なく、排水路内へ貯水することにより、少なくとも40m~70m程度の範囲までは地下水位の低下を抑制できることが示唆された。

2つめに、2010年のデータを用いて行った、処理区および未処理区の降雨後における地下水位低下速度の比較をする方法についてである。これは、一定量以上

の降雨後数日間における日当りの地下水位低下速度を求め、A 側線の地下水位低下速度が B 側線と異なる値を示す範囲が堰上げ水の影響範囲であると見なす方法である。また、降雨の多寡により地下水位低下速度に変化が生じることが考えられるため、以下の基準で少雨時期と多雨時期に分けてデータを整理した。

- ・少雨時期：20mm 以上の降雨が観測された日（以下基準日と表記）から前 7 日間において、日降雨量が 5 mm 未満の期間。かつ、基準日から後 3～7 日間において日降雨量が 5 mm 未満の期間。合計 2 期間を抽出。
- ・多雨時期：基準日から前 7 日間における総降雨量が 50mm 以上の期間。かつ、基準日から後 3～7 日間において日降雨量が 5 mm 未満の期間。合計 4 期間を抽出。

なお、日降雨量が 5 mm 未満の日を抽出した理由は、畑地かんがいの計画において、この降雨を有効雨量としないとされているためである。図 60 に少雨時期、図 61 に多雨時期の地下水位低下速度の平均値を示す。地下水位低下速度は、値が大きいほど地下水位が速く低下していることを示す。

少雨時期の地下水位低下速度は、全体的に 0～3 cm/日程度の小さな値で、多雨時期と比べて A 側線、B

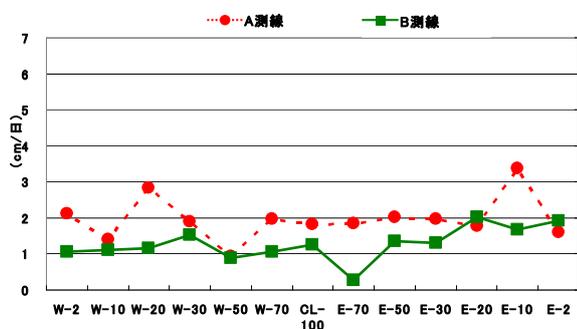


図 60 地下水位低下速度（少雨時期）

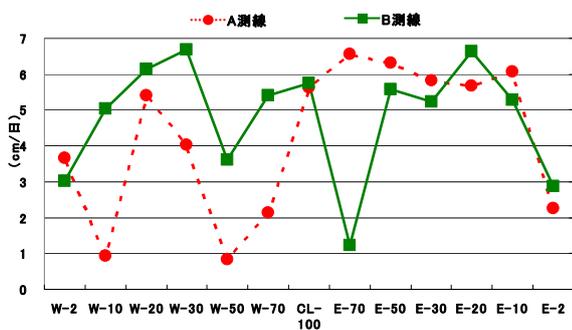


図 61 地下水位低下速度（多雨時期）

側線の差は小さい。その理由としては、少雨時期には、土壌の保水孔隙に空き容量があるため、基準日の降雨の多くがその孔隙に補足され、地下水位を上昇させるほど、地下へ浸透しなかったためと考えられる。ただし、図 53、54 に示したとおり、A 側線西側の地下水位は B 側線のそれより高い状態を維持している。

一方、多雨時期の地下水位低下速度は、A 側線の西側排水路側 (W-2～W-70) では平均 2.8cm/日であり、B 測線のそれ (平均 5.0cm/日) に比べて遅い。また、E-70 を除いた東側非堰上げ排水路側 (E-50～E-2) 地点は、A、B 両測線の間大きな差はみられなかった。少雨時期と異なり A、B 両測線の地下水位低下速度に違いが生じた理由としては、多雨時期には基準日前の多雨で、土壌の保水孔隙が満たされており、降雨が速やかに浸透して地下水位を上昇させたためと考えられる。したがって、堰上げ水の影響範囲は、西側排水路から 70m までと考えられた。

5.2 地下水位制御による牧草生産性への影響調査²²⁾

圃場内地下水位を高く維持することは、牧草の生育にも影響を与えると考えられるため、牧草の生育調査を実施する必要がある。そこで、地下水位の異なる箇所に新たに設けた試験区において草丈調査及び収量調査を実施し、地下水位と牧草生育との関係を検討した。

5.2.1 方法

図 62 に生育調査試験区の概要を示す。試験区は H2 圃場内の両排水路近傍に設定した。これは、試験区内の圃場内地下水位の高さが大きく異なるようにするためである。この試験区において、平成 18 年度秋より、「草地の簡易更新マニュアル」(北海道農政部、道立農業・畜産試験場、平成 17 年 4 月)に記載されている「表層攪拌法」に準じて、簡易更新を行った。播種は平成 19 年 8 月に実施した。播種量は、チモシー (品種：ホライズン) を 2.0kg/10a、シロクロバ (品種：ソーニャ) を 0.2kg/10a である。

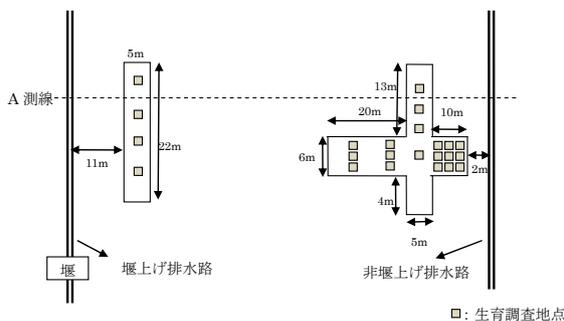


図 62 生育調査試験区の概要図

生育調査は、非堰上げ試験区では排水路からの距離が約3, 5, 10, 15, 20, 30mの地点で(以下、「非セキ〇〇m地点」と表記する)、堰上げ試験区では排水路からの距離が14mの地点で(以下、「セキ14m地点」と表記する)実施した。草丈調査は各地点10個体を測定し、その平均値を求めた。収量調査は各地点3~4箇所、0.5m×0.5mの方形枠(0.25m²)を用いて枠内の牧草を地面から約5cmの高さで刈り取った。刈り取った牧草はチモシー、チモシー以外のイネ科牧草、マメ科牧草、雑草に分別し、それぞれの生草重を測定した後、通風乾燥機にて70℃で48時間乾燥させ、乾物重を測定した。なお、一番草の草丈調査は2008年では5月9日、6月5日、6月24日の3回、2009年では5月19日と6月25日の2回、2010年では5月19日、6月15日、6月29日の3回実施した。二番草の草丈調査は2008年では8月6日、8月30日の2回、2009年では8月5日、8月24日、9月9日、9月15日の4回、2010年では7月10日、8月1日、9月1日の3回実施した。また、一番草の収量調査は2008年では6月24日、2009年では6月25日、2010年では6月29日、二番草は2008年では8月30日、2009年では9月9日、2010年では9月1日に実施した。

5.2.2 結果及び考察

図63~65にA測線で観測した地下水位の月平均値を示す。2008年ではセキ14m地点と、非堰上げ排水路側で地下水位が比較的高い非セキ30m地点と比較すると、生育期間を通してセキ14m地点が非セキ30m地点より15cm程度高く推移した。また、降雨が少なかった8月には、セキ14m地点が20cm以上高い値となった。すなわち、いずれの月においても、堰上げ側圃場の地下水位が非堰上げ側圃場のそれより高かった。2009年では夏期に降雨が多かったため、堰上げ側、非堰上げ側の

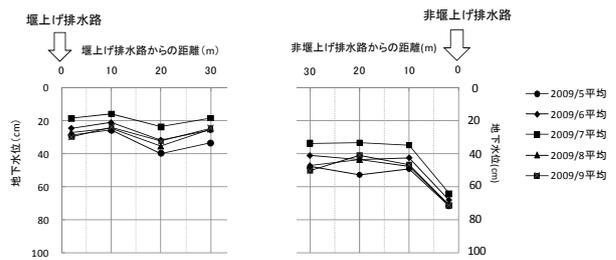


図64 A測線で観測した地下水位(2009年)

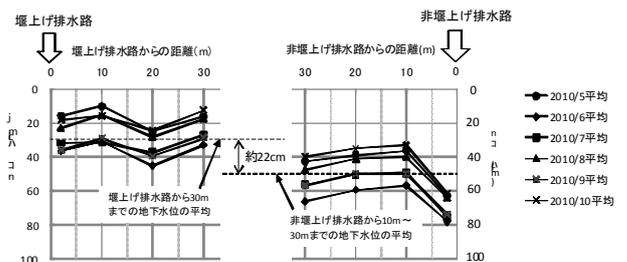


図65 A測線で観測した地下水位(2010年)

両方とも地下水位の季節的変化は小さかった。2010年では過去2カ年と同様にいずれの月においても堰上げ側圃場の地下水位が非堰上げ側圃場のそれより高かった。

図66~68に草丈調査の結果を示す。2008年では一番草収穫時の6月24日に、セキ14m地点が他の非堰上げ地点よりも有意に高かった。二番草収穫時の8月30日には、堰上げ地点と非堰上げ地点の間に有意な差は認められなかった。2009年では、一番草及び二番草生育期間とも、堰上げ側地点と非堰上げ側地点の間に有意な差は認められなかった。2010年では、一番草収穫時の6月29日にセキ14m地点が他の非堰上げ地点よりも有意に高かったが、二番草収穫時の9月1日では、有意な差は認められなかった。

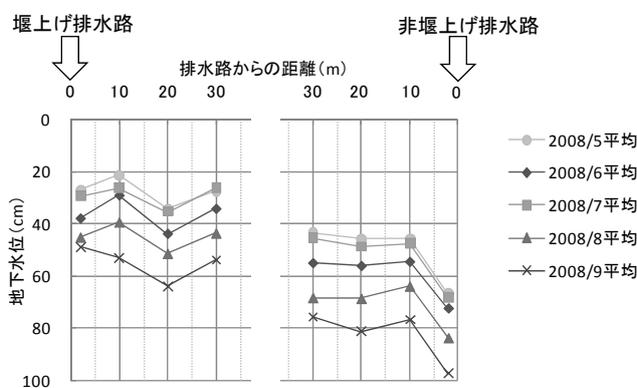


図63 A測線で観測した地下水位(2008年)

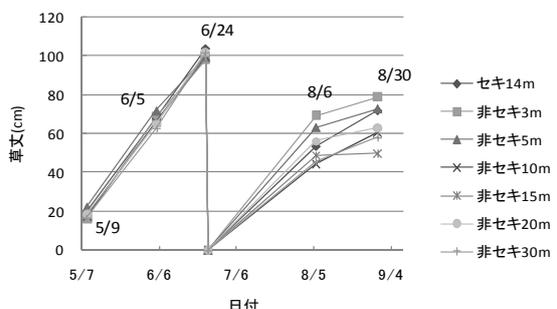


図66 草丈の推移(2008年)

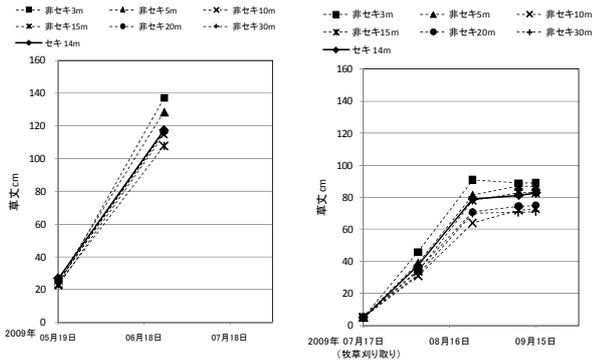


図 67 草丈の推移(2009年)

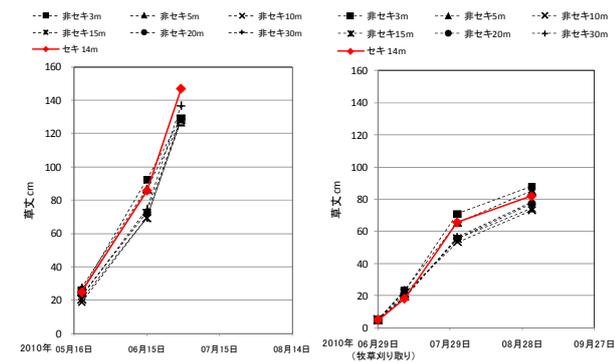


図 68 草丈の推移(2010年)

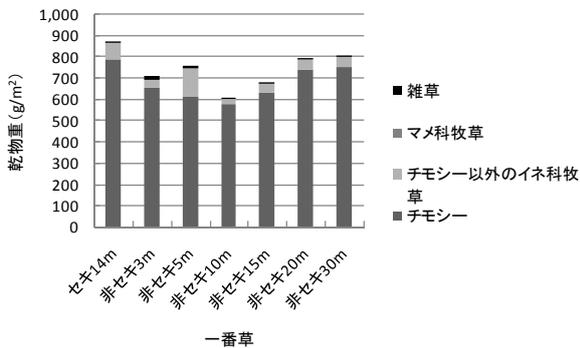


図 69 一番草の乾物重

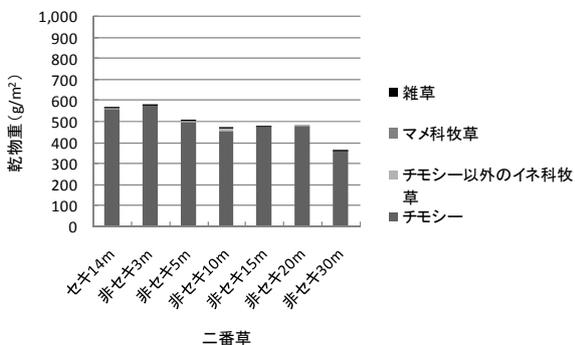


図 70 二番草の乾物重

図 69 に 2008 年一番草の乾物重を、図 70 に 2008 年二番草の乾物重を示す。なお、収量は 1m² 当たりで換算して表示した。また、生草重は乾物重と同じ傾向を

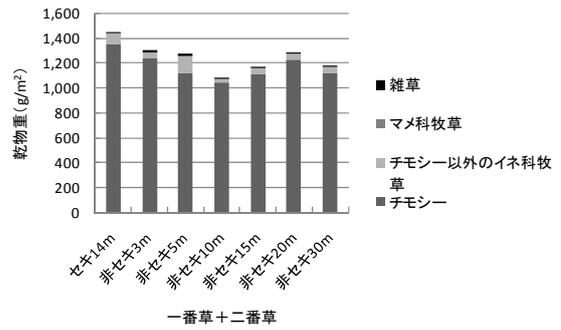


図 44 年間の乾物重 (2008年)

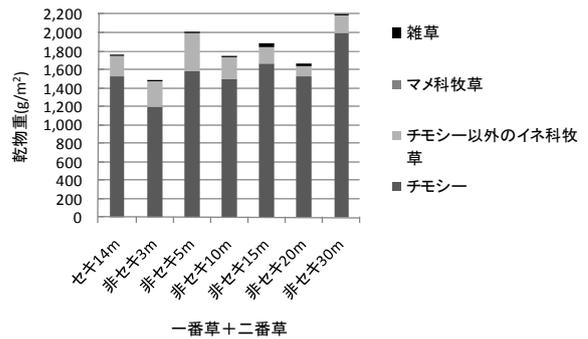


図 45 年間の乾物重 (2009年)

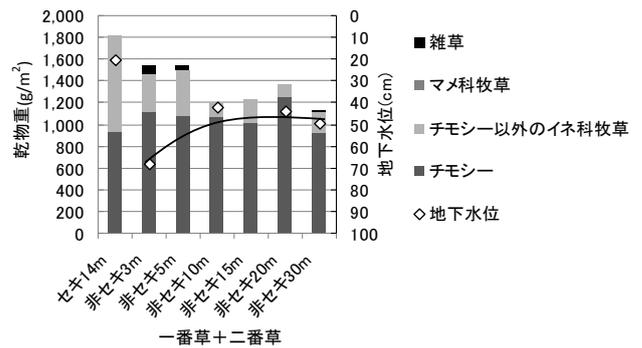


図 46 年間の乾物重 (2010年)

示したので、データは示していない。一番草では、セキ 14m 地点の収量が他の非堰上げ側地点よりも有意に多く、全収量に占めるチモシーの割合は約 9 割であった。残り 1 割は、チモシー以外の牧草が大部分を占めた。チモシー以外の牧草は、リードカナリーグラス、ケンタッキーブルーグラス、レッドトップであった。非堰上げ側の調査地点では、非セキ 20m 地点及び 30m 地点の収量が多かったが、地下水位との関係は明確ではなかった。二番草では、堰上げ側地点と非堰上げ側地点の間に有意な差は認められなかった。非堰上げ側の調査地点での収量と地下水位との関係は、一番草と同様に明確ではなかった。2008 年の年間の乾物重(図 71)は、地下水位が高く維持された堰上げ側の調査地点での収量が、非堰上げ側より有意に多い結果となった。すなわち、堰上げに伴い上昇する地下水位の高さが 30cm 程度までの場合、収量は増加することが示唆され

た。一方、図 72 に 2009 年の年間乾物重を示したが、2009 年ではセキ 14m 地点の乾物重量は $1,810\text{g}/\text{m}^2$ であり、非セキ 6 地点の平均乾物収量 $1,746\text{g}/\text{m}^2$ とほぼ同じ収量となった。前述の通り、2009 年夏期は 2008 年と比較して降雨が多く、地下水位も高く維持されていた。すなわち、降雨が多い場合には、非堰上げ側の圃場でも地下水位が高くなるため、収量の差が生じなかったものと考えられる。図 72 に 2010 年の年間乾物重と生育期間中の地下水位の平均値を示す。セキ 14m の乾物重量は $1,816\text{g}/\text{m}^2$ であり、非セキ 6 地点の平均乾物重量 $1,330\text{g}/\text{m}^2$ より有意に多くなった。しかしながら、セキ 14m の年間収量の約半分がリードカナリーグラスを主体とするチモシー以外のイネ科牧草となっている。2008 年から 2010 年までのチモシー以外のイネ科牧草の占める割合を見ると、年々増加している。図 72 には生育期間中の地下水位の平均を示したが、セキ 14m 地点では約 20cm の地下水位であり、この程度まで地下水位を上げると、牧草収量は多いものの、湿生環境を好むリードカナリーグラスの侵入が顕著となることが明らかとなった。したがって、農地と湿原が隣接するような場合は、湿原の地下水位調節と圃場内地下水位調節は分離する必要があると、緩衝帯を設けた整備が効果的と考えられる。

5.3 地下水位制御による地耐力への影響調査

地下水位が高い状態は圃場面の地耐力に影響し、場合によってはトラクターによる農作業が制約されることが懸念される。そのため、生育調査を実施した堰上げ側圃場と非堰上げ側圃場の各調査地点において、地耐力の調査を行った。

5.3.1 方法

地耐力調査は、生育調査と同じ試験区において、非堰上げ試験区の排水路からの距離がそれぞれ約 3m, 5m, 10m, 15m, 20m, 30m 上の 3 地点（以下、「非セキ〇」）と表記すると、堰上げ試験区の排水路からの距離が 14m 上の 4 地点（以下、「セキ 14m」と表記する）において実施した。調査は貫入式土壌硬度計（DIK-5521、大起理化工業（株））を用いて、圃場面から約 90cm までの貫入抵抗を計測した。調査回数は、2009 年は 5 月 24 日、8 月 24 日、9 月 16 日、11 月 16 日の 4 回、2010 年は 4 月から 11 月までに月 1 回実施した。

5.3.2 結果及び考察

2009 年の測定結果を図 73～76 に示す。なお、2010 年は 2009 年と同様の傾向を示しており、図は割愛する。測定結果の貫入抵抗値は、ほぼ $0.5\text{MPa} \sim 1.0\text{MPa}$ の間で

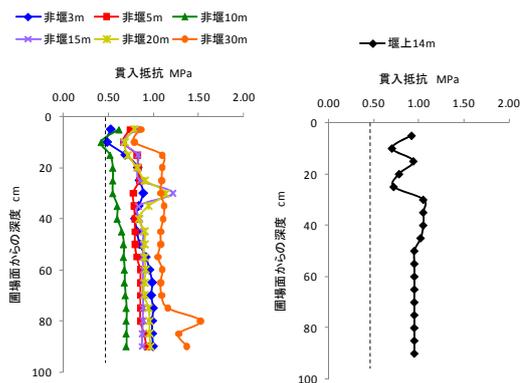


図 73 貫入抵抗 (2009 年 5 月 24 日)

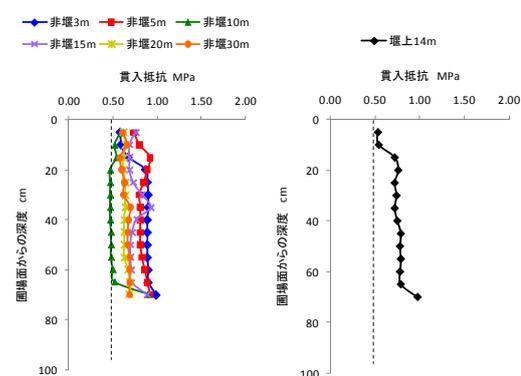


図 74 貫入抵抗 (2009 年 8 月 24 日)

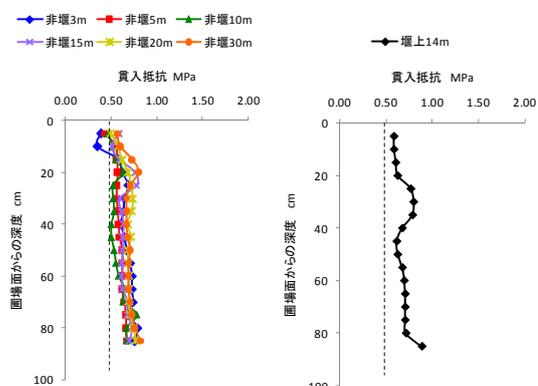


図 75 貫入抵抗 (2009 年 9 月 16 日)

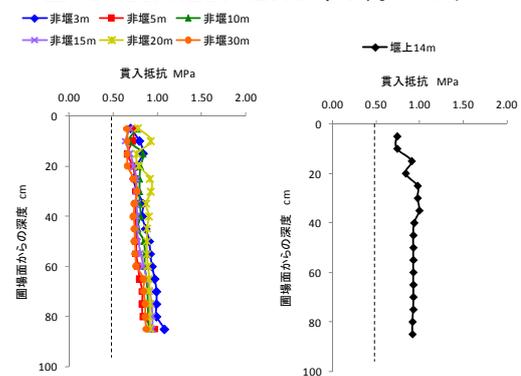


図 76 貫入抵抗 (2009 年 11 月 16 日)

推移した。堰上げ試験区（セキ 14m）における貫入抵抗値は、地下水位の影響で非堰上げ試験区（非セキ 3m～30m）の貫入抵抗値より小さいことが考えられたが、両試験区の間そのような差異は認められなかった。また、「土壌診断の方法と活用」¹⁷⁾によると、ホイール型のタイヤトラクターの自走による作業が容易にできる地耐力の目安は 5.0kg/cm² (0.49MPa) となっている。作土層を 15cm とすると、非堰上げ試験区一部でわずかに 0.49MPa 以下となる場合もあるが、ほとんどは 0.49MPa 以上の貫入抵抗値となり、堰上げの有無に関係なくトラクターによる自走作業が行える地耐力を有していることが確認された。

6. 泥炭農地の地下水位制御にともなう環境負荷軽減効果の解明

6.1 ガス揮散調査^{21, 23)}

泥炭農地は排水により乾燥が進むと、泥炭自体が分解し、温室効果ガスの一つである二酸化炭素(CO₂)が大気中へ放出される。地下水位を高く維持することは、泥炭の分解を抑制することにもなり、温室効果ガス抑制効果を明らかにする必要がある。また、農地からは、メタン(CH₄)や亜酸化窒素(N₂O)などの温室効果ガスも揮散しており、地下水位を制御することによるこれらのガス揮散の変化も明らかにする必要がある。そこで、地下水位の大きく異なる地点においてこれら温室効果ガスの揮散量を測定し、地下水位と温室効果ガス揮散量との関係を検討した。

6.1 方法

試験圃場はB町の大規模草地である。試験圃場の土壌は、鈣質土の客土層の下に、ヨシを主要構成植物とする低位泥炭が層厚約 1.4～3m 堆積している。温室効果ガスの揮散量調査は、圃場西側および東側の明きよ排水路から圃場内へ約 15m の位置で実施した。なお、西側排水路には堰を設けて排水路内の水位を高く維持しており、これにより圃場内の地下水位を高く維持することができる。図 77 にガス採取箇所の概要を示す。

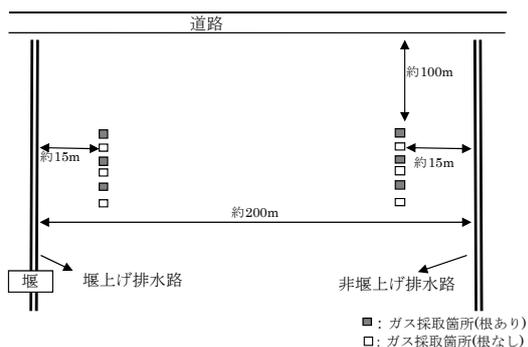


図 77 調査圃場の概要

表 8 処理区名と処理内容

処理区名	処理区略称	処理内容	
		地下水位	牧草の根
堰上げ根あり区	s-r	高	あり
堰上げ根なし区	s-nr	高	除去
非堰上げ根あり区	hs-r	低	あり
非堰上げ根なし区	hs-nr	低	除去



図 78 地表面の状況(左:根なし、右:根あり)



図 79 チャンバーの設置状況

ガス採取は牧草の根を残した箇所と牧草の根を除去した箇所を、両排水路近くにそれぞれ 3カ所設けた。表 8 に各調査地点の処理区名と処理内容を示す。

ガス採取箇所には、ステンレス製の台座(縦 30cm×横 30cm)を深さ 3cm まで差し込み、ガスサンプリング前日に根あり区では牧草を地際部で刈り取り、根なし区では雑草を切り取った(図 78)。ガス採取は、ステンレス製台座上部の溝に縦 30cm×横 30cm×高さ 20cm のアクリル製チャンバーをかぶせた後、一定時間ごとにシリンジでチャンバー内のガスを引き抜いた(図 79)。なお、金属製台座上部の溝には水道水を注ぎ込み封水とした。採取したガスは、CO₂分析用としてガスバックへ 250ml 注入するとともに、CH₄および N₂O 分析用として 15ml 容量の真空バイアル瓶へ 30ml 圧入した。ガスサンプリングと同時に、チャンバー内気温と地温を計測した。

採取したガスの分析は、CO₂については採取直後に現地圃場において赤外線 CO₂ アナライザー (LI-820、

LI-COR社製)を用いて分析した。CH₄およびN₂Oについてはサンプルガスを研究所に持ち帰り、ガスクロマトグラフィー(N₂O:GC-2014、CH₄:GC-14B(両機とも島津製作所製)で分析を行った。

ガス採取日は、2009年が8月25日、9月14日、10月19日、11月9日、12月1日の計5回、2010年が6月28日、7月11日、8月2日、9月13日、10月31日、11月16日、12月5日の計7回である。

また、ガス採取地点近傍で地下水位および土壌水分張力(pF)を測定した。

6.2 結果及び考察

図80,81に調査期間中の日降水量、地下水位および土壌水分張力(pF)を示す。2009年の営農期間中は降雨が多い年であった。地下水位はデータ回収を終えている11月下旬までの平均で、堰上げ区が約19cm、非堰上げ区が約43cmであり、約20cmの水位差が生じた。pFは降雨が少なかった8月中旬では、非堰上げ区が堰上げ区よりも大きい値を示し、水分量が少なかった日が見られたが、それ以降は両区とも大差は見られなかった。2010年の営農期間中は、7月下旬にまとまった降雨が観測されたが、その前後の降雨は少なかった。

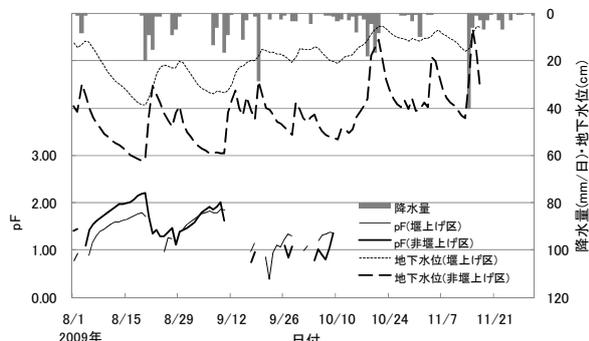


図80 日降水量、地下水位および土壌水分張力(pF)の推移(2009)

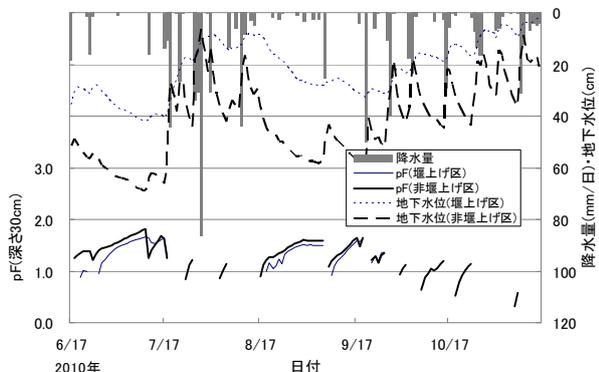


図81 日降水量、地下水位および土壌水分張力(pF)の推移(2010)

表9 ガス採取日における地下水位および土壌水分張力(2009)

ガス採取日	8月25日	9月14日	10月19日	11月9日	12月1日
地下水位(堰上げ区)	21.7	22.6	9.0	10.5	データ未回収
地下水位(非堰上げ区)	41.8	39.8	17.6	37.8	データ未回収
土壌水分張力(堰上げ区)	1.0	1.0	陽圧	陽圧	陽圧
土壌水分張力(非堰上げ区)	1.3	0.9	陽圧	センサー故障	センサー故障

表10 ガス採取日における地下水位および土壌水分張力(2010)

ガス採取日	6月28日	7月11日	8月2日	9月13日	10月31日	11月16日	12月5日
地下水位(堰上げ区)	32.0	41.9	8.7	26.9	8.0	未回収	未回収
地下水位(非堰上げ区)	60.0	68.9	24.6	52.3	31.8	未回収	未回収
土壌水分張力(堰上げ区15cm深)	1.5	2.0	陽圧	1.6	陽圧	-	-
土壌水分張力(堰上げ区30cm深)	1.7	1.7	陽圧	1.3	陽圧	-	-
土壌水分張力(非堰上げ区30cm深)	1.8	1.8	陽圧	1.4	陽圧	-	-

地下水位の平均値は、堰上げ区が約23cm、非堰上げ区が約44cmであり、約21cmの水位差が生じた。深さ30cmにおけるpFは非堰上げ区が堰上げ区よりも大きい値を示した。

表9,10にガス採取日における地下水位およびpFを示す。2009年10月の調査では、堰上げ区および非堰上げ区とも地下水位が高く、一部の調査地点が湛水した。以降の調査結果でのpFが陽圧と表示されている日は、土壌中からpFセンサーに対して水圧が生じていることを意味しており、センサー部分まで地下水位が上昇したためと考えられる。2010年は8月と10月で、他の調査日と比較して両区とも地下水位が高かった。

図82,83に2009年および2010年の地温とCO₂フラックス(土壌呼吸速度)の関係を示す。地温(絶対温度

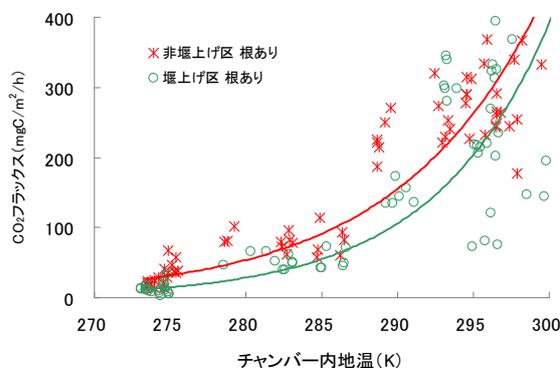


図82 地温とCO₂フラックス(根あり区)

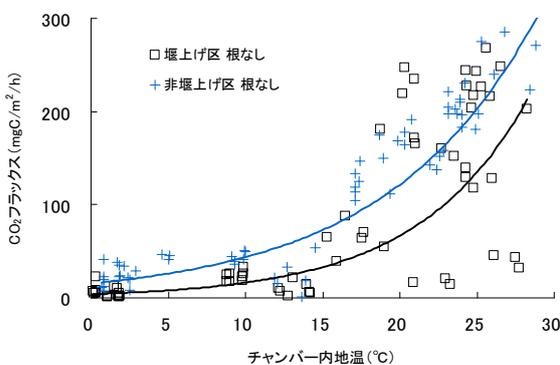


図83 地温とCO₂フラックス(根なし区)

表 11 処理区毎の CO₂ フラックスの平均値(2009)

日時	8月25日		9月14日		10月19日		11月9日		12月1日	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
堰上げ区 根あり	155*	167*	138*	216*	52	56	54*	44*	16*	12*
非堰上げ区 根あり	245	338	212	298	80	79	86	72	22	16
堰上げ区 根なし	53*	129*	75*	147*	6*	9	27*	20*	11	7
非堰上げ区 根なし	129	204	119	208	24	25	47	40	28	10

*: 堰上げ区と非堰上げ区の間において、5%水準で有意差あり

表 12 処理区毎の CO₂ フラックスの平均値(2010)

日時	6月28日		7月11日		8月2日		9月13日		10月31日		11月16日		12月5日	
	AM	PM	PM1	PM2	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
堰上げ区 根あり	418	306*	298	265	91.5*	162*	315	359*	29.2*	59.5*	6.52*	6.29*	10.2**	13.6**
非堰上げ区 根あり	419	230	258	266	246	346	283	225	57.5	87.8	35.1	36.9	18.5	21.3
堰上げ区 根なし	284	190	224	230	17*	40.3*	216	244	8.13*	21.9*	1.18*	2.77*	0.74*	3.17*
非堰上げ区 根なし	287	151	181	191	162	287	164	228	33.1	44.8	28.2	16.4	16.5	18.8

*: 堰上げ区と非堰上げ区の間において、5%水準で有意差あり

度, T) と土壌呼吸速度(SR)の関係は、一般的にアレニウス式 $\ln(SR)=a/T+\ln(b)$ で表される¹⁸⁾。いずれの試験区の結果もアレニウス式で近似できた。

表 11, 12 に処理区毎の CO₂ フラックスの平均値を示す。2009 年は根がある場合もない場合も、地下水位が高い堰上げ区において土壌呼吸速度が小さかった。t 検定の結果、10 月と 12 月調査日の一部を除いたすべての調査日において、5%水準で有意に堰上げ区の土壌呼吸速度が小さい結果となった。2010 年は 8 月 2 日、10 月 31 日、11 月 16 日の調査では、t 検定の結果、5%水準で有意に堰上げ区の土壌呼吸速度が小さい結果となった。一方、2010 年 7 月 11 日 AM と 9 月 13 日 PM の調査では、根あり区において有意に堰上げ区の土壌呼吸速度が大きい結果となった。表 4, 5 に示したとおり、2010 年の調査日では 2009 年と比較して堰上げ区の深度 15cm における pF が大きい傾向にあった。すなわち、長期にわたって地下水位を高く維持している堰上げ区では、土壌表層近くの水分が少なくなった時期に、土壌呼吸量が一時的に増加したことが考えられるが、非堰上げ区の深度 15cm 深での pF データが得られていないため、結論づけることはできなかった。なお、同圃場では 2006 年にも温室効果ガスの測定が実施されている。ガスサンプリングは両排水路から圃場内へ約 15m の地点で実施しており、牧草の根を除去した裸地区での二酸化炭素発生量は、堰上げ排水路側で小さい結果であったと述べられている¹⁹⁾。すなわち、地下水

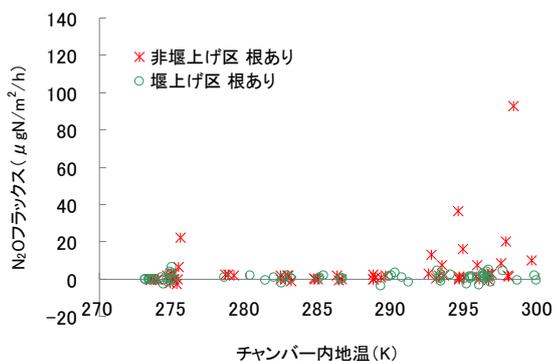


図 84 地温と N₂O フラックス (根あり区)

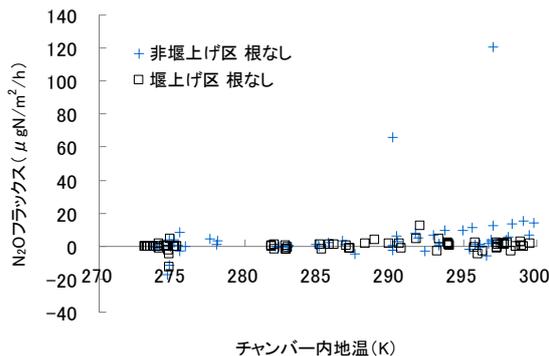


図 85 地温と N₂O フラックス (根なし区)

表 13 処理区別の N₂O フラックスの平均値(2009)

日時	8月25日		9月14日		10月19日		11月9日		12月1日	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
堰上げ区 根あり	1.25	-0.80	-0.82	0.00	0.97	0.07	0.78	-0.41	-0.81	-0.36
非堰上げ区 根あり	1.12	0.65	0.52	0.66	-0.08	0.34	0.85	0.49	-0.09	0.96
堰上げ区 根なし	5.98	1.41	0.51	0.44	0.13	-0.65	-0.60	0.43	-0.62	1.25
非堰上げ区 根なし	24.78	45.07	-0.69	0.51	0.79	-0.18	-0.20	-0.24	3.01	0.74

*: 堰上げ区と非堰上げ区の間において、5%水準で有意差あり

表 14 処理区別の N₂O フラックスの平均(2010)

日時	6月28日		7月11日		8月2日		9月13日		10月31日		11月16日		12月5日	
	AM	PM	PM1	PM2	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
堰上げ区 根あり	2.05*	0.68**	1.24**	1.65**	1.36**	0.20**	2.47**	2.74**	0.91**	0.89**	-0.78**	3.01**	-0.82**	-3.92**
非堰上げ区 根あり	6.45	1.15	2.15	1.24	19.83	40.92	7.57	3.75	4.04	2.22	0.27	6.36	-0.13	-1.74
堰上げ区 根なし	3.08**	1.06**	0.16**	0.31**	-1.90**	0.79**	2.03**	1.31**	1.56**	-0.92**	0.00**	-6.71**	-1.60**	1.71**
非堰上げ区 根なし	4.05	-0.23	1.21	-0.64	10.05	14.28	6.34	6.36	2.66	2.91	-0.38	1.94	0.92	-2.18

*: 堰上げ区と非堰上げ区の間において、5%水準で有意差あり

位を高く維持することにより、土壌からの CO₂ 放出を抑制することが可能であると考えられる。

図 84, 85 に地温と N₂O フラックスの関係を示す。N₂O フラックスについては、地温との一定の関係はみられなかった。表 13, 14 に処理区毎の N₂O の平均値を示す。2009 年はいずれの調査日においても、堰上げ区と非堰上げ区との間には有意な差は認められなかった。2009 年は、いずれの調査日においても堰上げ区と非堰上げ区との間に有意な差は認められなかった。2010 年は 6 月 28 日、8 月 2 日、9 月 13 日において、堰上げ区が非堰上げ区と比較して有意に小さい値を示したが、他の調査日においては両区間に有意な差は認められなかった。一般に、地下水位が地表付近に存在する自然状態の泥炭地では N₂O は放出されないか、わずかに吸収されるといわれている²⁰⁾。調査圃場は自然状態の泥炭地ではないが、今回の調査結果からは地下水位の高低と N₂O との間に一定の傾向は認められなかった。

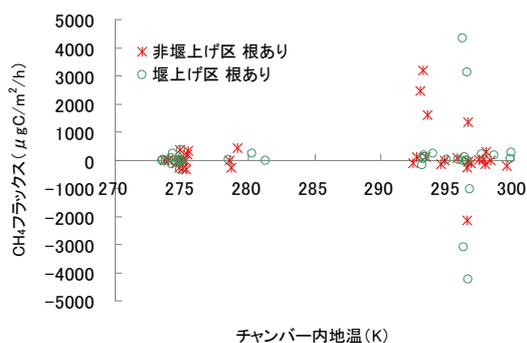


図 86 地温と CH₄ フラックス (根あり区)

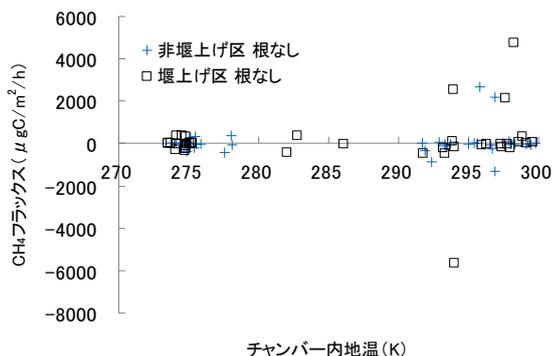


図 87 地温と CH₄ フラックス (根なし区)

CH₄ については、2009 年はいずれの調査日においても検出することができなかった。2006 年の調査では、-54~123 μgC/m²/h のフラックスを観測している。2009 年に使用したガスクロマトグラフィーの検出下限値は 580ppm であり、下限値が高すぎたことが CH₄ 不検出の原因と考えられる。2010 年度はガスクロマトグラフィーを再調整し分析を行った。図 86, 87 に結果を示す。地温および地下水位との関係は認められなかった。

6.2 水質調査

堰上げにより生じる滞留水は、水質が悪化して下流域への負荷が懸念される。そこで、2009 年 4 月~12 月の期間で、毎月 1 回の水質調査を実施した。なお、2010 年も水質調査を行ったが、2009 年と同様の結果を示したため、データは示さなかった。

6.2.1 方法

6.2.1.1 調査地点および採水場所

図 89 に調査地点の模式図を示す。

水質の現地計測および採水は以下のように実施した。

①堰止めにより生じた滞留水

ハンド採水器を使用して水深 50cm (以下、滞留水・50cm と記す) と水深 150cm (以下、滞留水・150cm

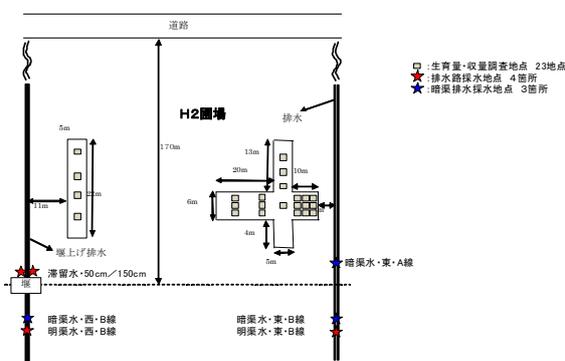


図 88 採水地点位置

表 15 水質分析方法

項目	現地計測
pH	ポータブル多項目水質計 WQC-24 による計測
DO	
EC	
項目	室内分析・分析方法
T-N	ペルオキシニ二硫化カリウム分解 紫外吸光光度法
T-P	ペルオキシニ二硫化カリウム分解 吸光光度法
T-Fe	フレイム式原子吸光法
D-Fe	フレイム式原子吸光法
Fe ²⁺	フェナントロリン吸光光度法

と記す) で採水を行い、その滞留水の水質をポータブル多項目水質計により計測した。

②暗渠排水からの排水

B 測線の西側(堰上げ排水路側)と東側(通常の排水路側)、A 測線の東側(滞留水に対応する位置)の暗渠管落口部で、暗渠からの排水をポリ瓶で採水し、水質計を用いて計測した。また、メスシリンダーで排水量を計測した。以下の記述では、それぞれ、暗渠水・西・B 線、暗渠水・東・B 線、暗渠水・東・A 線と記す。

③明渠排水中の排水

B 測線の西側(堰上げ排水路側)と東側(通常の排水路側)で、排水路内の排水をポリ瓶で採水し、水質計を用いて計測した。以下の記述では、それぞれ、明渠水・西・B 線、明渠水・東・B 線と記す。

6.2.1.2 現地調査項目および室内分析項目

現地では、水温、暗渠管排水量を計測するとともに、ポータブル多項目水質計で pH、EC、DO を計測し、室内分析用試料を採取した。また、室内分析項目は、全窒素(T-N)、全リン(T-P)、全鉄(T-Fe)、溶解性鉄(D-Fe)、二価鉄(Fe²⁺)である。分析手法は表 15 に示した。

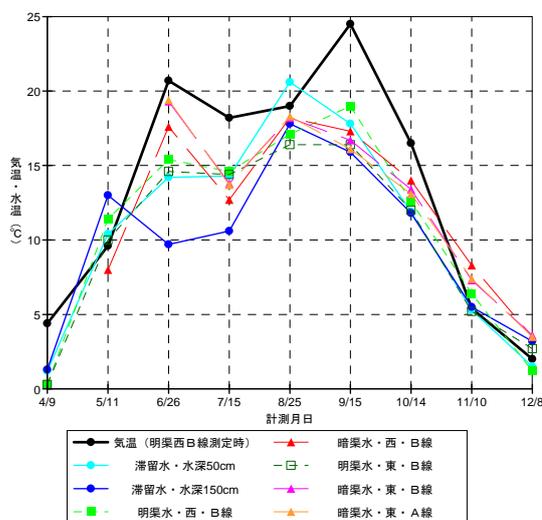


図 89 気温と水温の推移

6.2.2 結果および考察

4~5月の現地調査では、明渠排水路内の残雪のため、暗渠排水は採水できなかった。また、EC計の不具合により、ECは結束となった。

図89に水温の推移を気温と共に示した。

滞留水・水深150cmの5月から7月にかけての水温の変動が他の時期や他の地点と異なる以外は、いずれの地点、いずれの時期の水温も気温の変化に対応している。

図90にpHの推移を示した。泥炭土からの排水は、一般にpH4~5のオーダーである。しかし、4月から7月にかけては高い値で推移しており、11月以降にはpH

が上昇する傾向にある。その原因は土層中の還元状態が強くなり、生成されたアンモニアの影響によるものと考えられる。特に6月は、水温の項目で指摘したように、急激に気温が上昇し、強い還元状態となったのではないかと推測される。6月以降は降雨と土壌中の浸透水量が増えたことから、還元状態が緩和され、かつ、生成されたアンモニアが中和される以上の酸性となったため、pHも低下したと考えられる。

図91に溶存酸素濃度の推移を示した。水中の有機物などの汚濁原因となる物質を微生物が分解する過程で水中酸素を消費する。そのため、溶存酸素濃度が低いということは汚濁原因となる有機物等の量が多いこと、また、還元状態にあることを表す。滞留水や明渠排水

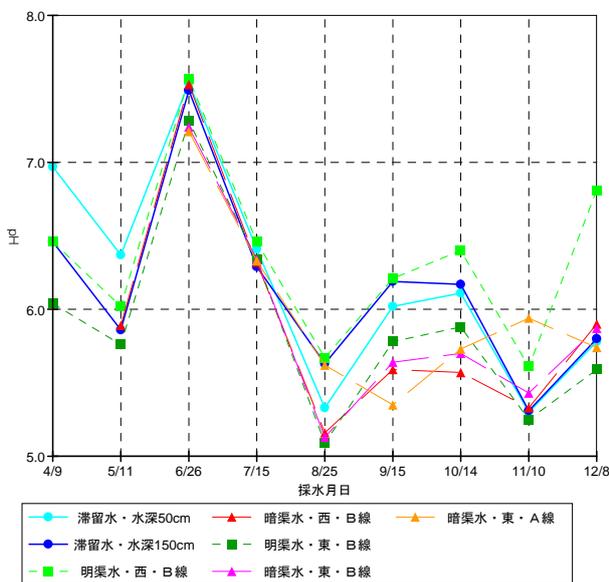


図90 pHの推移

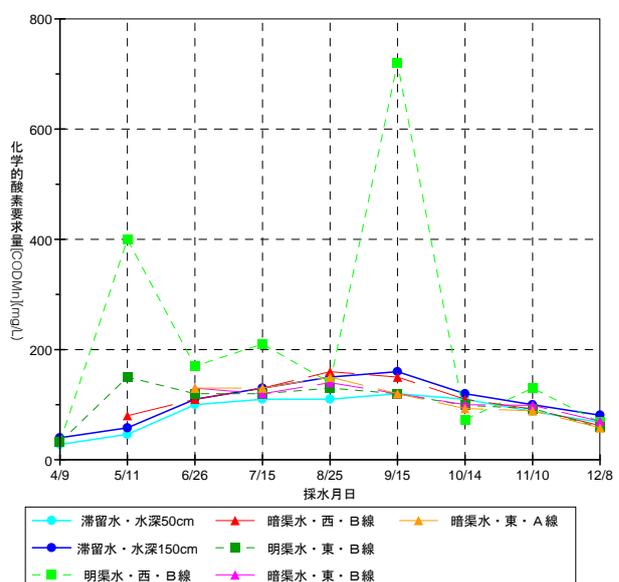


図92 化学的酸素要求量の推移

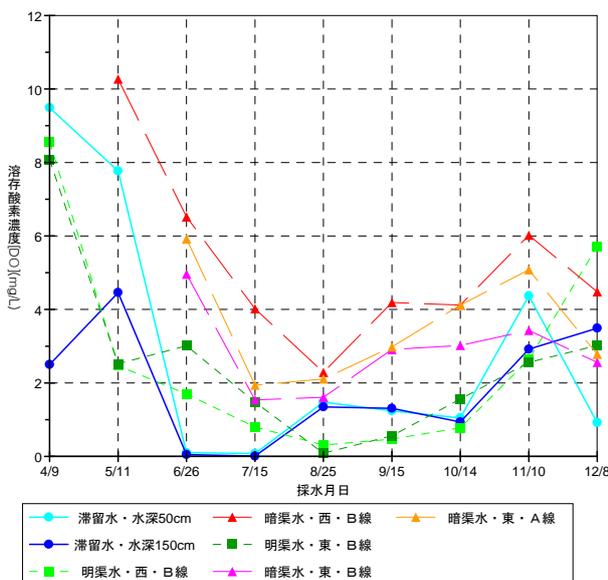


図91 溶存酸素濃度の推移

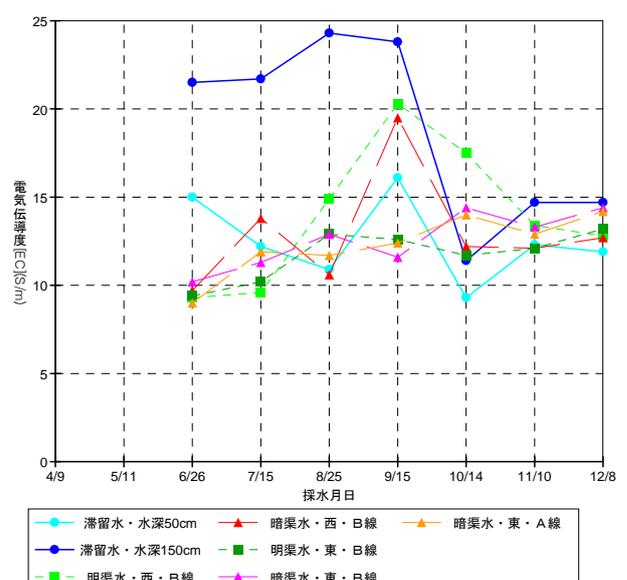


図93 電気伝導度の推移

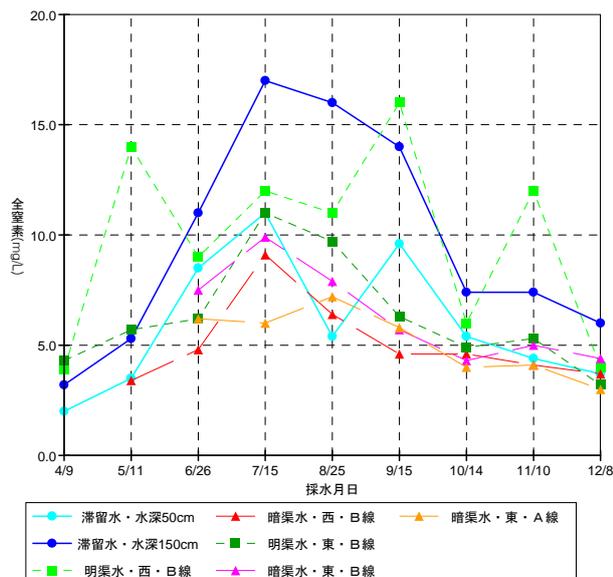


図 94 全窒素濃度の推移

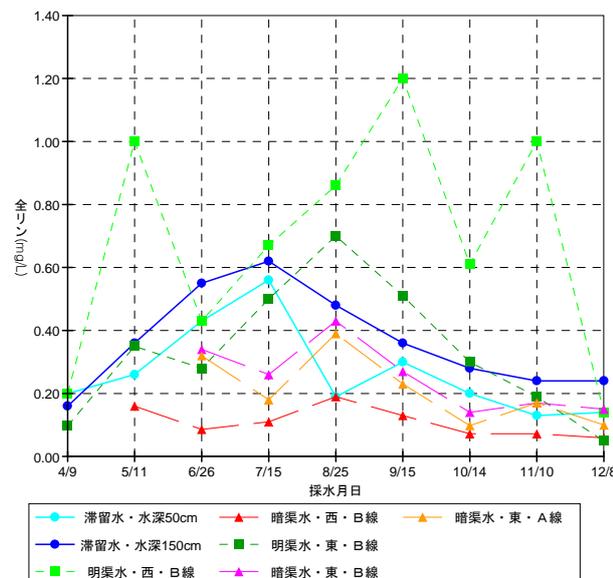


図 95 全リン濃度の推移

では夏期に極めて小さな値となっている。

図 92 に COD の推移を示した。溶存酸素と同様に、水中の有機物など汚濁原因物質の量を相対的に示す指標で、値が大きいほど酸素の要求度合いが高い、すなわち汚濁物質が多いことをあらわす。

図 93 に EC の推移を示した。EC は、イオンの種類は特定できないが、溶存イオンの総量を表す。溶解している成分が多いということは、その成分の質によっては汚濁起源となる可能性が高まることとなる。

滞留水・150cm では後述する溶解性鉄の濃度の推移にほぼ合致しており、鉄イオンの変動が反映していると考えられる。しかし、その他の地点での EC の推移は、

必ずしも鉄の濃度や、窒素、リンの濃度の変動と関連しておらず、種々のイオンが関与した推移であると推測される。

図 94 に全窒素濃度の推移を示した。全体として、夏期にピークとなる山型の推移であり、2mg/L 以下となることはなかった。

図 95 に全リン濃度の推移を示した。全窒素濃度と近似した傾向が認められる。明渠水・西・B 線で濃度の高い状況が継続している。その原因は、排水路内での流況が悪く、浅い水深で停滞しやすいためと考えられる。

堰滞留水と明渠排水路の水質を比較すると、EC と全窒素において、堰滞留水 150cm の値が明渠水よりも大きくなっているが、水深 50cm の値は明渠水とほぼ同じ値を示した。堰滞留水は、降雨が続いた場合に明渠へ流出するが、堰を超えて流出するため、上層の滞留水が流れ出ることになる。すなわち、流出水は明渠水と同様の水質であり、周辺環境に対する影響は少ないと考えられる。

7. まとめ

本研究では、泥炭農地での沈下実態及び農地に付帯する明渠排水路とその周辺の沈下実態を明らかにするとともに、泥炭農地に生じる沈下量と圃場内地下水位および積雪荷重との関係について考察した。また、長期的な泥炭の分解状況を把握するため、試験圃場内に既知の有機物を埋設し、その分解量を計測する試験を実施するとともに、泥炭農地から発生する温室効果ガスの現地調査を実施した。さらに、農地に付帯する排水路に堰を設けて、排水路内水位を上昇させた試験を実施し、圃場内の地下水位の変動を明らかにするとともに、牧草の生産性及び地耐力についての調査を実施した。結果は以下の通りである。

農地造成直後から 46 年間にわたり草地の測量を行った結果、北側ブロックの平均標高は農地造成後 48 年間に約 1.78m の地盤沈下を生じた。その沈下速度は、農地造成後の 12 年間に約 6.2cm/年、その後の 36 年間に約 2.9cm/年とやや沈下速度は小さくなっていったものの、46 年を経過しても沈下が収束していないことが明らかとなった。

二次造成の泥炭草地での置土深の異なる試験圃場では、造成後の 2 年間は沈下が進行し、その後 4 年間の標高変化に大差はなかった。しかし、その後 5 年間で約 5cm の沈下が観測され、ゆるやかではあるが沈下が進行していた。

泥炭の分解に関しては、リターバッグの残存率の結

果より、次の三つについて明らかとなった。①埋設日数が同じであれば、水苔>濾紙(セルロース)の順に残存率が高い。②有機物の組成が同じ資材では、埋設深が深いほど残存率が高い。③地下水位が埋設深より高いと残存率が高い。また、置土による分解の抑制については、濾紙のような易分解性有機物は置土直下への埋設であっても、置土直下が十分な嫌気状態に達するまでの期間に相当量が分解してしまい、一方、水ゴケのような難分解性有機物が主体のものは残存割合が多く、置土により分解が抑制されていると考えられた。

排水路水位と圃場内地下水位に関しては、堰上げを行った西側排水路上流の水位は、堰上げを行っていない東側及び西側下流の排水路水位と比較して、約0.8m以上高く維持されていた。これにより、処理区の西側では、排水路水位の上昇に伴い地下水位の低下が抑制されていた。処理区と未処理区の地下水位を比較検討した結果、本調査圃場において、排水路内貯留水が圃場内の地下水位に及ぼす影響範囲は、排水路から40m～70m程度と考えられた。

地下水位制御による牧草生産性への影響については、年間の乾物重の結果では、降雨が少なかった2008年と2010年では地下水位が高く維持された堰上げ側の調査地点での収量が、非堰上げ側の調査地点より多い結果となった。しかしながら、年を経るにしたがい、堰上げ側では湿生環境を好むリードカナリーグラスの侵入が顕著となることが明らかとなった。

地耐力については堰上げの有無に関係なく、ホイール型タイヤトラクターの自走作業が可能な0.4MPaをほぼ満たしており、自走作業が行える地耐力を有していることが確認された。

温室効果ガスの測定では、堰上げを行うことにより有意にCO₂の発生を抑制できることが明らかとなった。

上記の結果から、排水路の堰上げにより圃場面の沈下を軽減できることが示唆されたが、水位を高く維持し続けると、収量は確保できるものの湿地帯を好むリードカナリーグラスの侵入が顕著となり、牧草の品質が低下することが明らかとなった。したがって、農地と湿原が隣接する場合は、湿原の地下水位調節と圃場内地下水位調節は分離する必要があり、緩衝帯を設けた整備が効果的と考えられた。

参考文献

1) 小野寺康浩ほか：二次造成泥炭草地における地盤変動の経年変化、寒地土木研究所月報第638号、

pp.10～16、土木研究所寒地土木研究所、2006

2) 石田哲也ほか：泥炭地用のリターバッグ埋設器具の開発とこれを用いた3種の有機物の分解量、日本土壤肥料学会誌、第76巻第2号、pp.187～191、日本土壤肥料学会、2005

3) 石田哲也ほか：泥炭農地における有機物分解と抑制方法、第48回土壤物理学学会講演要旨集、pp.58～59、土壤物理学学会、2006

4) 石田哲也ほか：リターバッグ法による農地開発された泥炭土の中の有機物分解特性調査、寒地土木研究所月報第654号、pp.2-8、土木研究所寒地土木研究所、2007

5) 大久保天ほか：泥炭農地の地盤沈下の長期観測、第53回北海道開発技術研究発表会論文集、CD-ROM、北海道開発局、2010

6) 北海道開発局：石狩川特殊軟弱地域開発基盤整備事業推進調査報告書(地盤圧密沈下予測調査関係分) p.32～48(1997)

7) 石渡輝夫：北海道における泥炭農地整備技術の変遷と課題、土壌の物理性 No.104 pp.109～117(2006)

8) 北海道開発局：昭和49年度サロベツ実験農場調査報告書、pp.38～50(1975)

9) 石渡輝夫、小野寺康浩、岡本隆、橋本淳一、森川俊次、会沢義徳：サロベツ実験農場での造成後36年間の沈下量と土層構成、第51回農業土木学会北海道支部研究発表会講演集 pp.32～35(2002)

10) 小野寺康浩、山内進、会沢義徳：一次造成および二次造成後の泥炭農地の沈下実態、第46回北海道開発局技術研究発表会 発表概要集 農業・港湾・漁港・空港部門 pp.53～60(2002)

11) 池田泰久ほか：附帯明渠堰上げが泥炭農地の地下水位に及ぼす影響、第55回農業土木学会北海道支部研究発表会講演集、pp.94～97、農業土木学会北海道支部、2006

12) 池田泰久ほか：明渠排水路堰上げによる地下水位の変化と有機物分解抑制について、第50回(平成18年度)北海道技術研究発表会、CD-ROM、北海道開発局、2007

13) 池田泰久ほか：泥炭農地の附帯明渠堰上げが地下水位と地盤高に及ぼす影響、第56回農業農村工学会北海道支部研究発表会講演集、pp.112-115、農業農村工学会北海道支部、2007

14) 池田泰久ほか：排水路堰上げが泥炭農地の地下水位に与える影響、第51回北海道開発局技術研究発表会論文集、CD-ROM、北海道開発局、2008

- 15) 岡村裕紀ほか：排水路堰上げによる泥炭農地の地下水位変動について、第 52 回北海道開発技術研究発表会論文集、CD-ROM、北海道開発局、2009
- 16) 大久保天ほか：地下水維持による泥炭農地の地盤沈下抑制の効果、平成 21 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集、CD-ROM、(社)農業農村工学会、2009.
- 17) 土壌診断の方法と活用、藤原俊六郎、安西徹朗、加藤哲朗著、p. 69、1996
- 18) 土壌圏と地球温暖化、木村真人、波多野隆介編、名古屋大学出版会、p. 131、2005.
- 19) 平成 18 年度受託研究報告書：北海道における国営土地改良事業にかかる技術研究、(独)土木研究所寒地土木研究所、2007.
- 20) 森本聡ほか、泥炭林土壌の温室効果ガスの生成と消失、土壌の物理性 113 号、pp. 3-12、2009.
- 21) 中山博敬ほか：泥炭農地の地下水位制御による土壌呼吸の違い、平成 22 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集、CD-ROM、(社)農業農村工学会、2010.
- 22) 岡村裕紀ほか：地下水位制御にともなう牧草生産性への影響、第 59 回農業農村工学会北海道支部研究発表会講演集、農業農村工学会北海道支部、2010
- 23) 中山博敬ほか：泥炭農地における土壌呼吸と地下水位の関係、日本農業気象学会北海道支部 2010 年大会講演要旨集、農業気象学会北海道支部、2010.
- 24) 村山重俊ほか：熱帯泥炭の分解特性と分解抑制技術の開発(3)ヒトロキアルミニウムが泥炭有機物の分解およびトリモシの生育に及ぼす影響、日本土壌肥料学会講演要旨集(42)、1996.