

戦-54 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（一般勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：寒地農業基盤研究グループ（資源保全）

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

【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いるなどの特徴的な様子が把握できた。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。農地に附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。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。

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)。

平成 18～21 年度は上述 1)～5) に関連して、泥炭農地での沈下実態および農地に附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、農地に附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

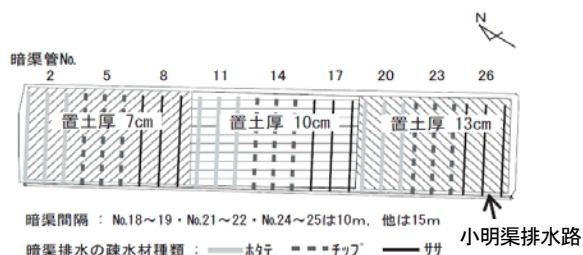


図1 試験圃場の概要

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

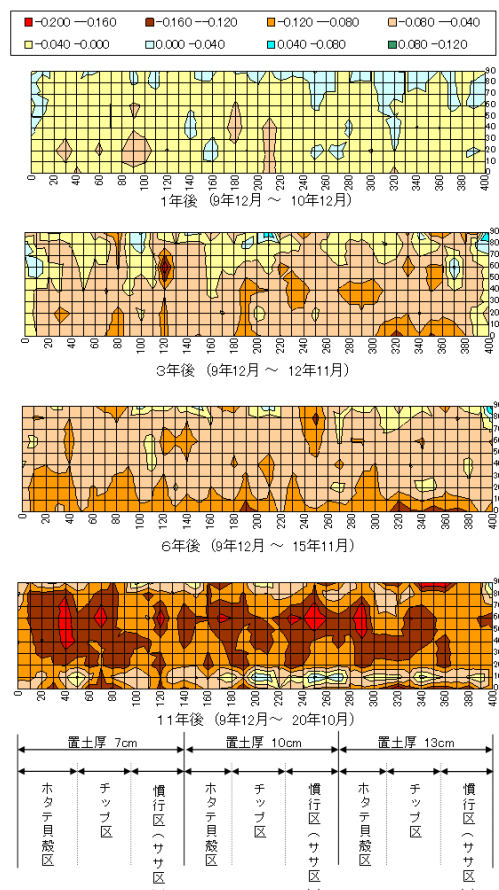


図2 1 年後、3 年後、6 年後、11 年後の標高変化分布

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 1999 年 12 月の値とほぼ等しく、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 5 cm の沈下が観測された。

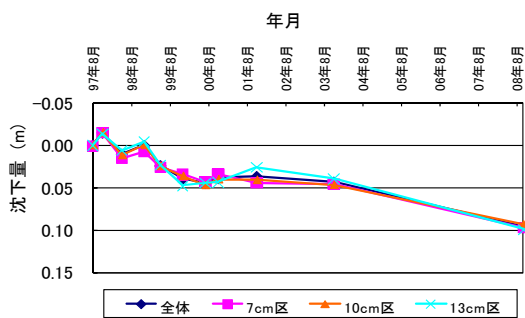


図3 沈下量の平均値の推移

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、自重荷重を軽減するために軽量の塩ビ製で制作したもの

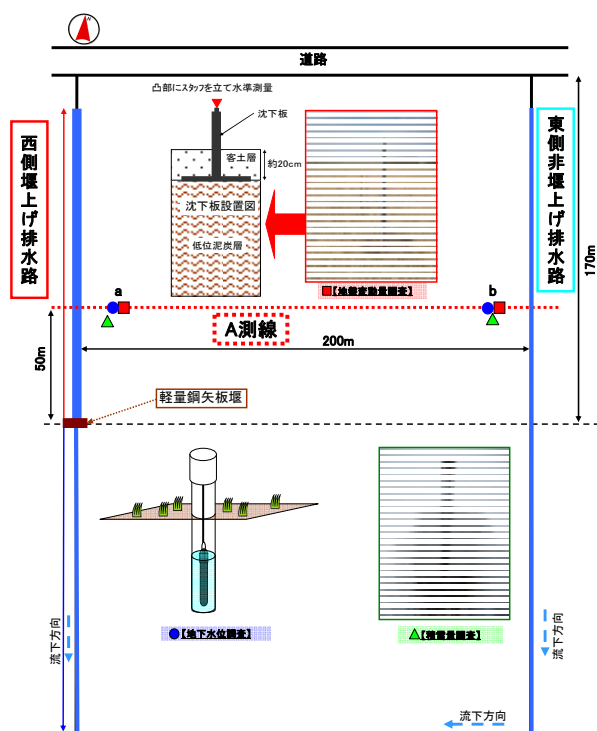


図4 調査概要図

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、沈下板ロッド上部を約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箇所ですべて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2010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、2009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22.5cm及び42.5cmであり、20cm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、

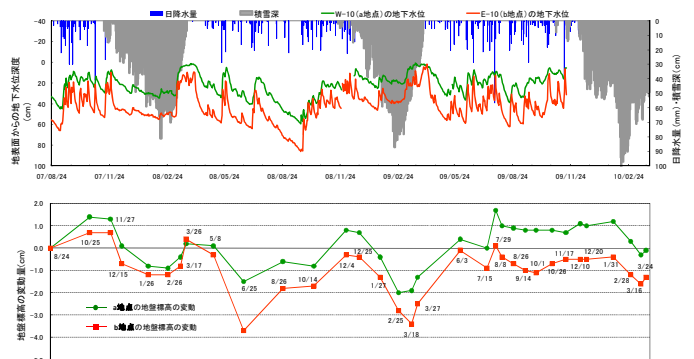


図5 地下水位と地盤変動量の経時変化

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。特に 2010 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沈下しているが、堰上げ側の a 地点ではほぼ同じ標高であった。このことから、地下水位を高く維持することで圃場地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、地下水位と地盤変動量の関係を図 6 に示す。2007 年度は 2007 年 10 月下旬から 2008 年 5 月上旬までのデータを、2008 年度は 2008 年 10 月下旬から 2009 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る。一方、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。

地盤変動量は、2007 年度では a, b 両地点間に地下水位の差が約 20cm 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。2008 年度も a, b 両地点ともほぼ同じく沈下しているが、2007 年度より沈下量は大きくなっている。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。上述の通り、

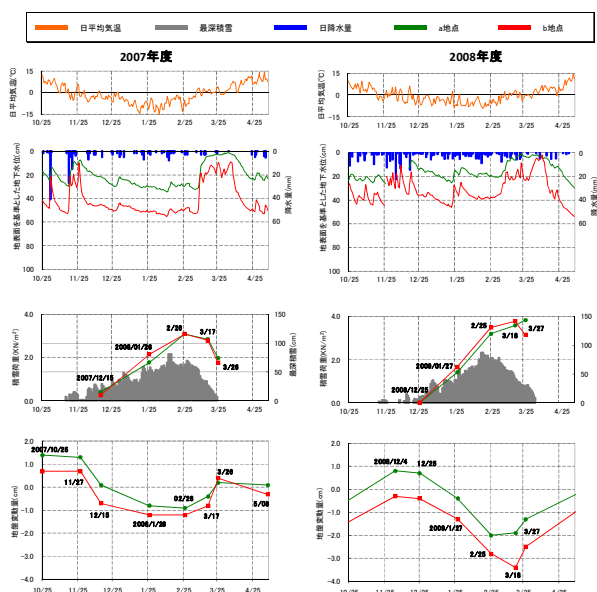


図 6 積雪荷重、地下水位と地盤変動量の関係

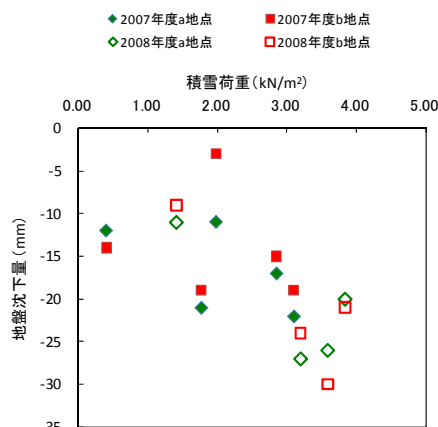


図 7 積雪荷重と地盤沈下量の関係

2008 年度は、2007 年度と比較して積雪荷重が大きかったため、沈下量も大きい値となった。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。

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 リターバック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)。



図8 リターバッグ

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



図9 リターバッグ埋設機具

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。

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

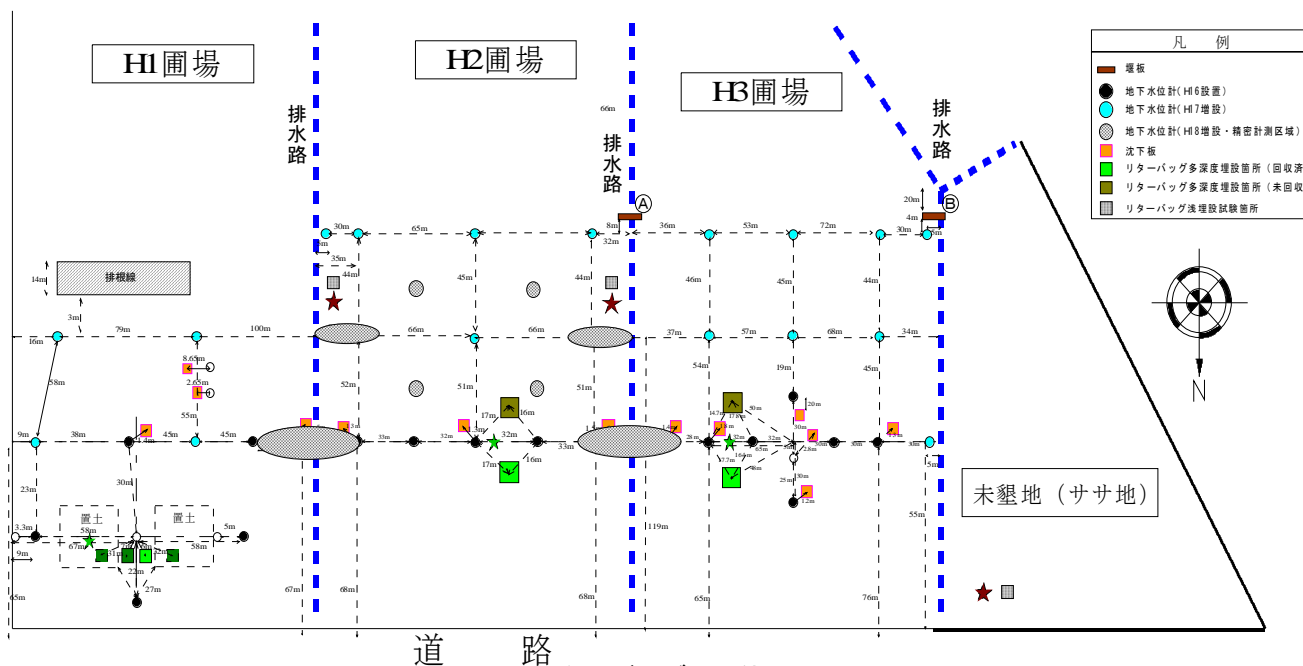


図10 リターバッグ埋設位置図

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を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月11日）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。

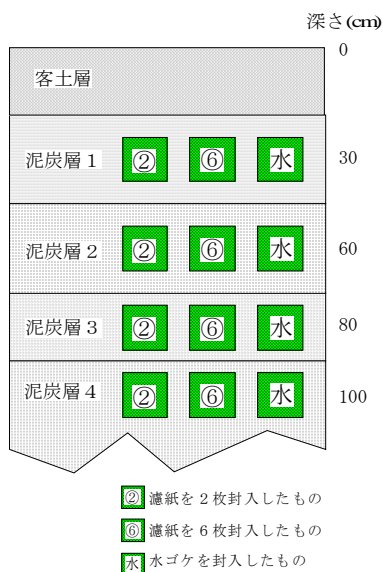


図11 多深度埋設の模式図

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

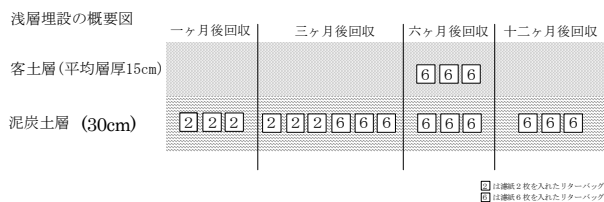


図12 浅層埋設の概要図

の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。

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。

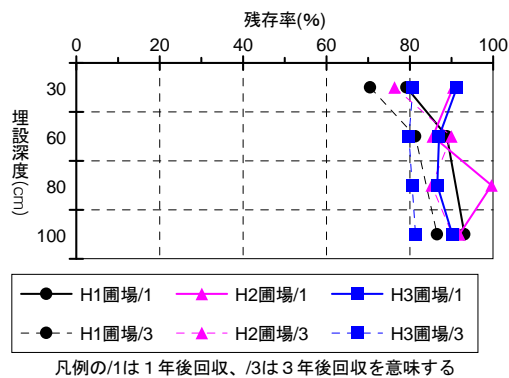


図13 水苔の残存率の推移（多深度埋設）

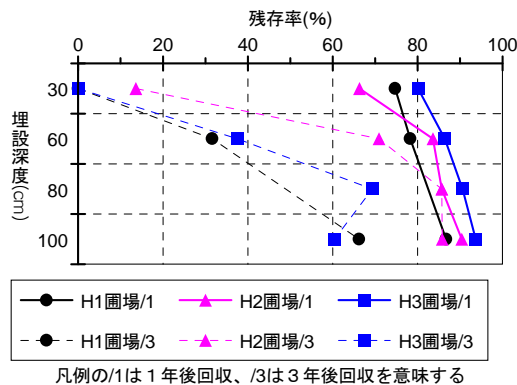


図14 濾紙6枚の残存率の推移（多深度埋設）

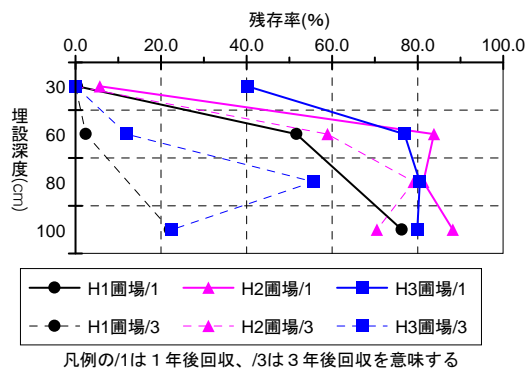


図15 濾紙2枚の残存率の推移（多深度埋設）

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、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。

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)

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、非堰上水路沿線が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

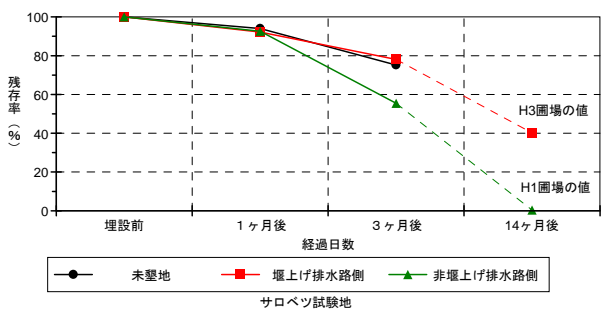


図16 濾紙2枚の残存率の推移 (浅層埋設)

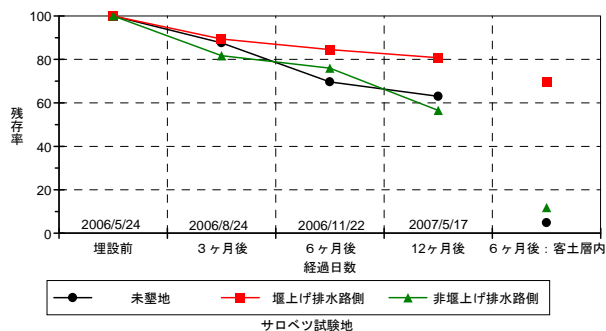


図17 濾紙6枚の残存率の推移 (浅層埋設)

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。

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ク埋設深より高い日数

埋設位置	地下水位がリターバック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

浅層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クの残存率が「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クでの、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、リターバック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

リターバッグ法による泥炭土層内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、鉍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。



図18 置土直下へのリターバッグ埋設の模式図

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。

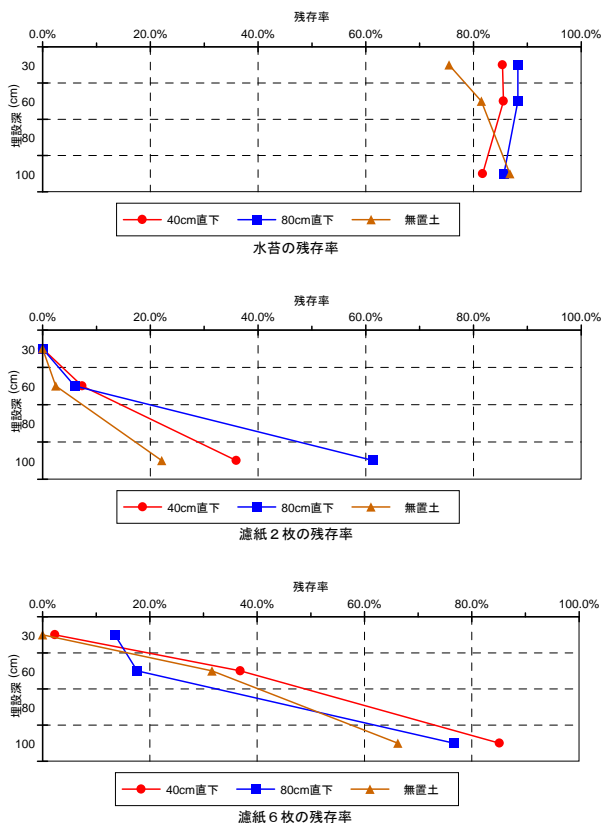


図 19 置土直下に埋設したリターバックの残存率

3.3 泥炭農地の長期にわたる地盤沈下の実態把握⁵⁾

北海道では泥炭未墾地を農地化するための大規模な排水事業が実施されてきた。しかし、泥炭農地は排水に伴いしばしば地盤沈下を引き起こすことが知られている^{6,7)}が、長期間に渡る地盤沈下の観測事例は少なく、その沈下実態が十分に把握されているとはいえない。B町内の泥炭農地(草地)では、農地造成後の1963年から1999年まで断続的に圃場面の水準測量が実施されてきた^{8,9,10)}。本項では、その標高観測の継続として2009年実施の水準測量結果を加えて、農地造成後46年間の地盤沈下実態を明らかにする。

3.3.1 調査方法

調査対象は、1960年代初期に造成された農地(以降、本調査圃場と呼ぶ)である。造成後営農は継続され、1980年代には無客土であった圃場面に約10cmの客土が投入された。同圃場では、1963年から1974年までの毎年と1999年に、圃場内複数の定点において水準測量が実施されてきた。本研究は、その同地点において水準測量を実施した。図20に本調査圃場における水準測量地点を示す。水準測量は、No.1~No.38の全地点で実施した。

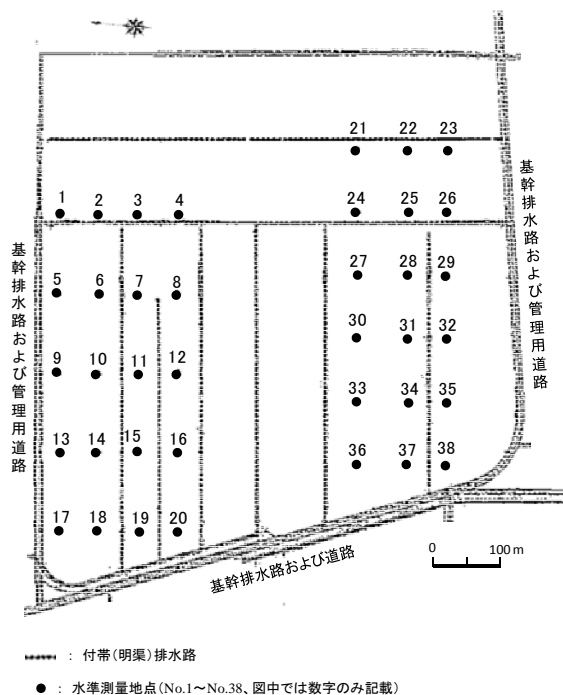


図 20 調査圃場における水準測量地点

3.3.2 結果及び考察

3.3.2.1 圃場面標高の経時変化

農地造成直後の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、本調査圃場面上38地点の経時的な標高の変化について把握した。ただし、36年後(1999年)及び46年後(2009年)の標高は、実際の水準測量結果から客土層厚0.1mを差し引いて補正している。図21に全地点における平均標高の経年変化を示す。1963年の水準測量開始以来、ほぼ連続的な地盤沈下を示し、46年間に平均地盤標高は6.87mから5.46mとなり、約1.5mの地盤沈下が生じた。また、その地盤沈下速度は、初期の10年間に於いて5.3cm/年、その後の36年間に於いて2.7cm/年であった。

本調査圃場は約10cmの客土のみで表土の荷重は小

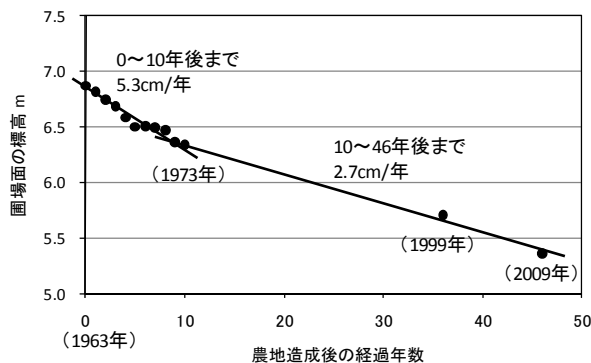


図 21 全地点の平均標高の経年変化

さく、また最近 10 数年間のうちに、本調査圃場の地下水位に影響を与えるような排水改良事業等の実績はない。それゆえ、1999 年から 2009 年までの 10 年間の地盤沈下速度は、それ以前の沈下速度より小さくなる(地盤沈下はしだいに収まる)結果が期待されたが、以上のように本調査圃場の標高は、1973 年の標高以来、ほぼ直線的な沈下の傾向を示した。

3.3.2.2 圃場地盤標高の面的分布

1963 年当初の本調査圃場面の標高分布を図 22 に示す。図中の数値は、No. 1~No. 38 各地点(地点 No. の記載は省略)の標高を示す。圃場面全体は、西側へ向かって標高は低い傾向で、標高の最高位は No. 21 地点の 7.32m、最低位は No. 20 地点の 6.50m で、その差は 0.82m であった。図 23 に 2009 年の本調査圃場面の標高分布を示す。造成直後の場合と変わり、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 No. 35 地点の 5.91m、最低位は No. 9 地点の 4.78m であり、その差は 1.13m であった。このように、造成直後の圃場面および 2009 年の圃場面には、それぞれの標高勾配に一定の傾向がみられる。図 24 にはその両者の標高差から求めた 46 年間の地盤沈下量を示す。各地点隣接の地盤沈下量にはばらつきもみられるが、大局的にみると北東方向に向かって地盤沈下量が増加する一定の傾向が確認された。また、同様な地盤沈下量の分布傾向が、1999 年時点の水準測量データにおいても確認されている^{9,10)}。

以上のように、面的な地盤沈下の一定傾向を起因させる何らかの要因の存在が示唆される。泥炭農地の地

盤沈下は、前述のように地下水位に関連し、地下水位が低いほど地盤沈下への影響は大きいと考えられる。すなわち、図 24 に示すような地盤沈下量の分布傾向は、圃場内の地下水位に関連すると推察される。このような地盤沈下の面的な傾向の主要因を探究することは、本調査圃場を含む広域的な地域の状況と泥炭農地の地盤沈下との関係を理解する上で重要と考えられる。

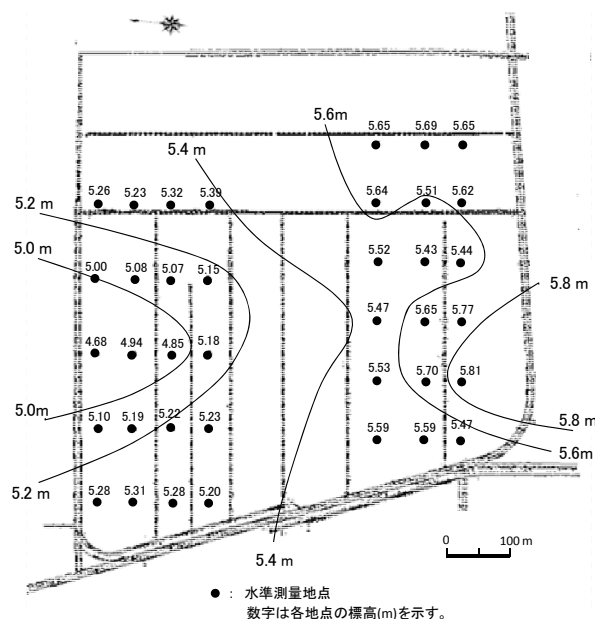


図 23 2009 年の調査圃場面の標高分布

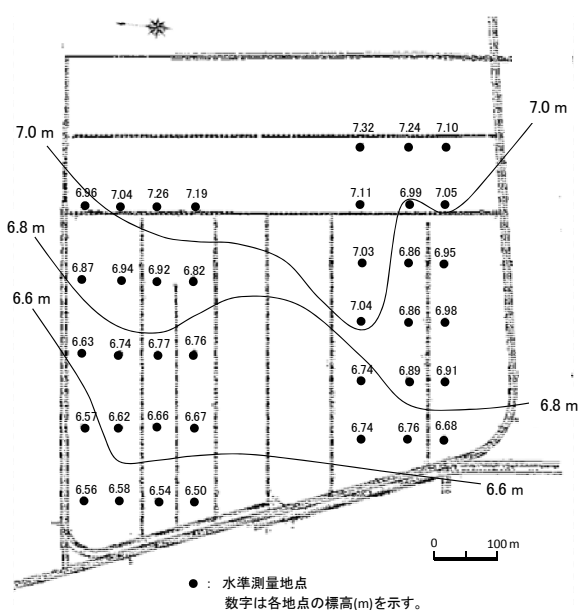


図 22 1963 年当初の調査圃場面の標高分布

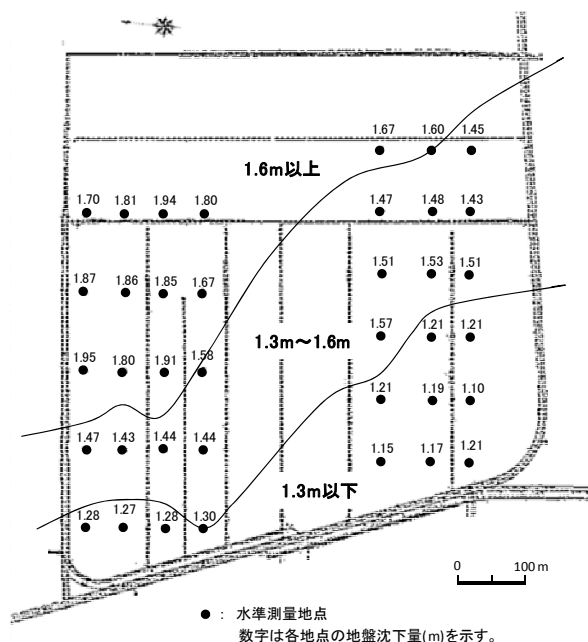


図 24 調査圃場面の地盤沈下量の分布

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。

排水路からの距離毎の沈下量を図25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1cmである。一方、この期間での小明渠側の沈下量は8cm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。

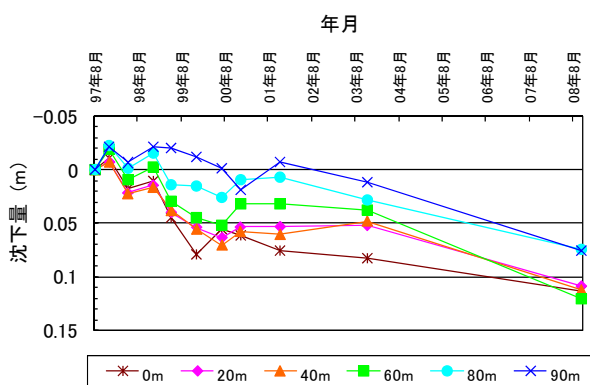


図25 沈下量の平均値の推移

図26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。

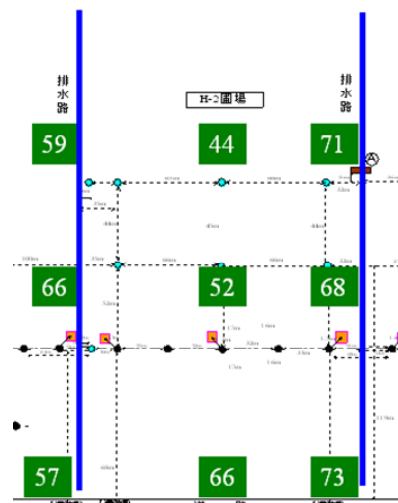


図26 一次造成後18年間で生じた沈下量(cm)

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27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、2008年及び2009年の6月～11月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。

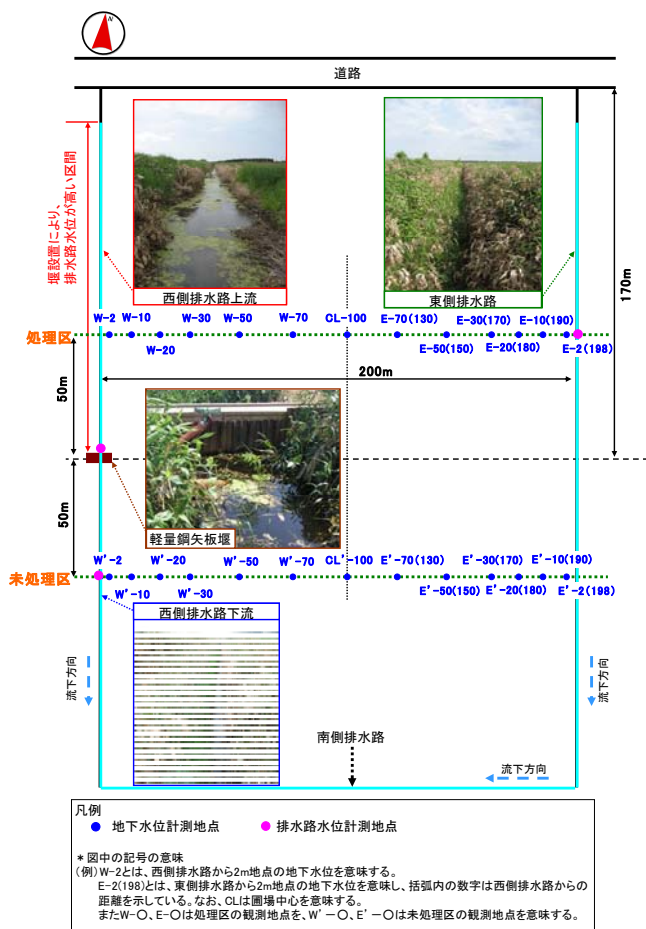


図27 調査概要図

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28～30に2007年、2008年及び2009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表した。西側排水路に設置した堰の堰天端高は5.0mである。2007年の西側排水路上流の水位は、6月から7月にかけて降雨が非常に少なかったため徐々に低下したが、8月以降は降雨により回復し、

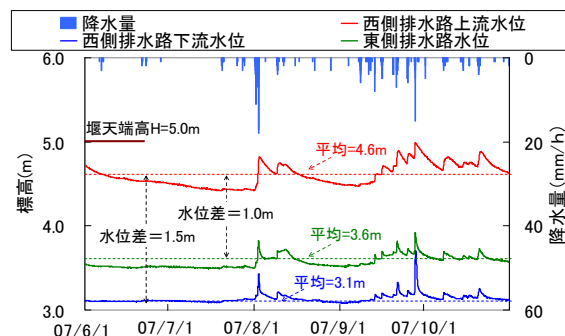


図28 排水路水位の経時変化(2007年)

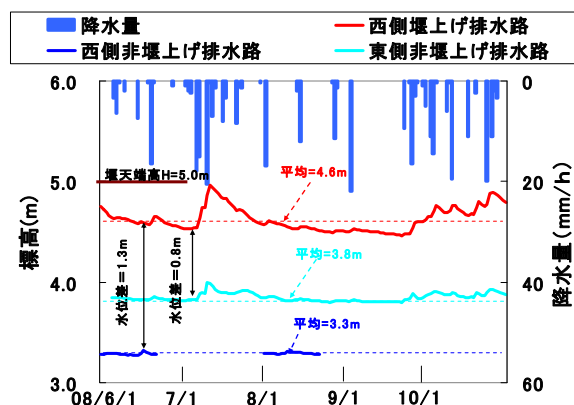


図29 排水路水位の経時変化(2008年)

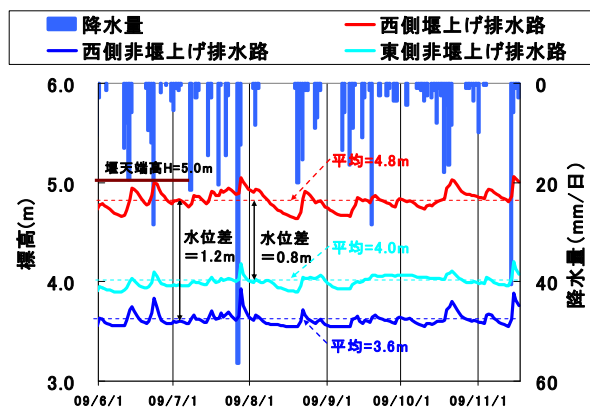


図30 排水路水位の経時変化(2009年)

西側排水路下流より平均 1.5m、東側排水路より平均 1.0m 高く推移した。西側排水路上流は、堰上げに伴い水位が上昇しており、観測期間を通して高く維持されていた。2008年は8月から9月にかけて降雨が少なかったが、堰上げしている部分は2007年と同じ程度の水位を保った。2009年は平年並みの降水量となり、雨が少なかった2007、2008年と比較すると、堰上げ排水路の水位は高く維持されていた。

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31～33に2007年、2008年及び2009年の処理区及び未処理区の地表面、地下水面の断面形状と排水路水

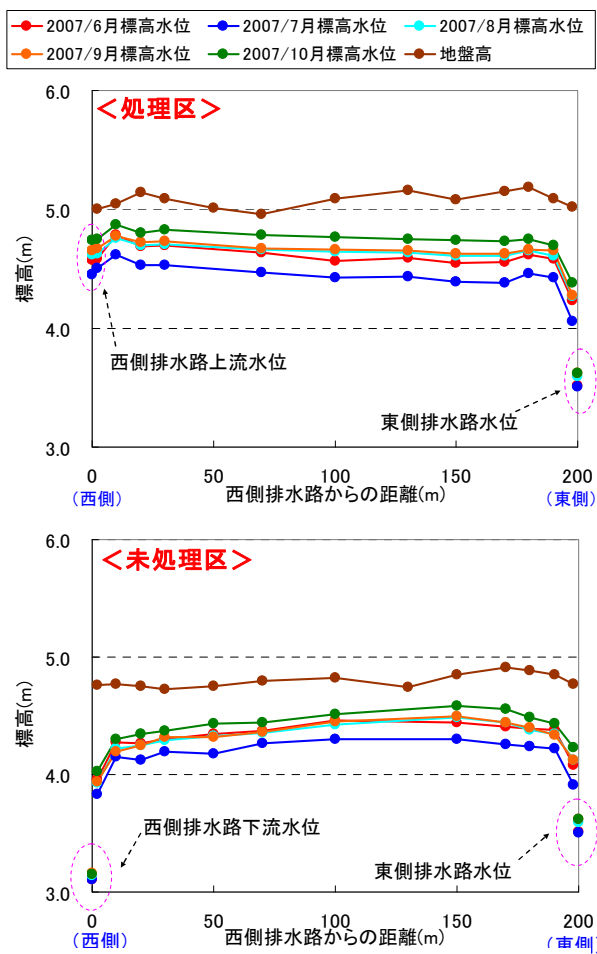


図 31 地下水面と排水路水位(2007年)

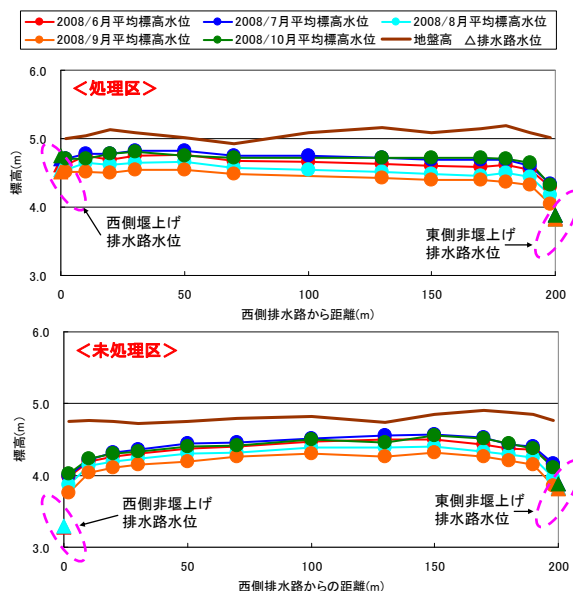


図 32 地下水面と排水路水位(2008年)

位を示す。圃場内の地下水位は標高で表した（以下、標高水位と表記）。標高水位及び排水路水位は、月平均値を用いている。なお、2007年の処理区のW-50地点及び未処理区のE'-70地点の全期間と、2008年の

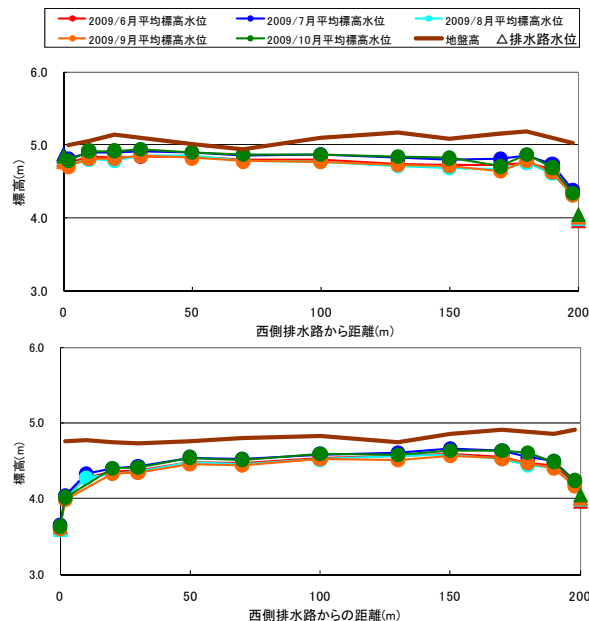
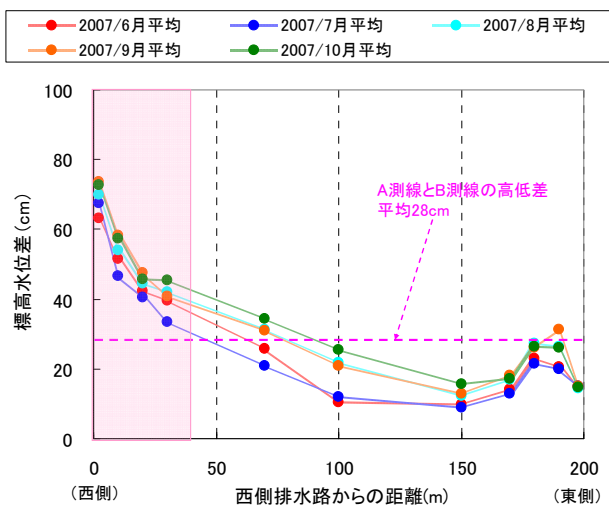


図 33 地下水面と排水路水位(2009年)

CL-100地点の9,10月、2009年のE-10地点の9,10月データは水位計の不具合のため欠測となった。地盤高は、地下水位観測孔近傍で測量した値を用いた。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。2007年の標高水位は、両区とも7月が最も低く、また2008年は両区とも9月が最も低くなった。これは、各年の降雨が少なかった時期と一致する。一方2009年は両区とも大きな季節変化はみられなかった。

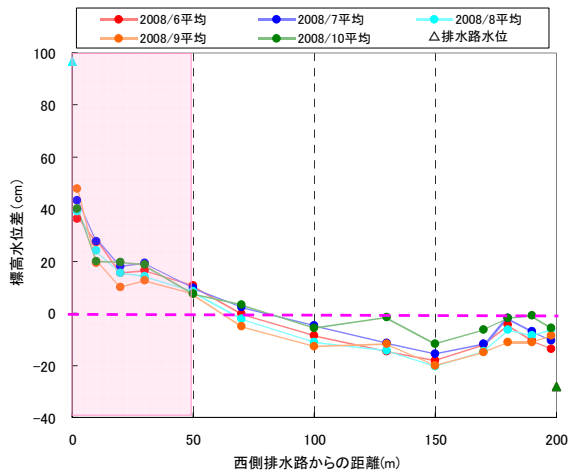
2007年、2008年、2009年のいずれも、処理区の東側は排水路の堰上げを行っていないため、排水路に向かい標高水位が大きく低下した。西側は、堰上げによって排水路水位が高く維持されていたため、標高水位の低下が抑制されていた。また圃場内の標高水位は、西側から東側に向かって緩やかに低下していた。一方未処理区は、東側、西側ともに排水路の堰上げを行っていない。このため、両側の排水路に向かい標高水位が大きく低下していた。また圃場内の標高水位は、東側から西側に向かって緩やかに低下していた。未処理区の標高水面形状が、排水路の堰上げを行う前の処理区の水面形状と同様であると仮定すると、堰上げを行うことにより、西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。

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、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34~36に示す。なお、処理区及



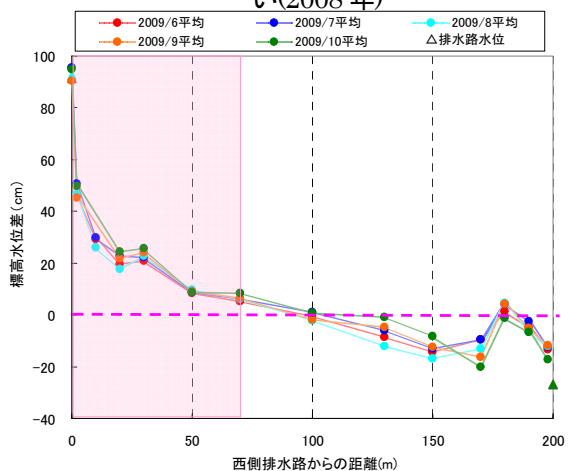
* 標高水位差(cm)=処理区の標高水位-未処理区の標高水位

図 34 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 35 西側排水路からの距離に伴う標高水位差の違い(2008年)



* 標高水位差(cm)=(A測線の標高水位-27cm)-B測線の標高水位

図 36 西側排水路からの距離に伴う標高水位差の違い(2009年)

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 年については前述のとおり、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 34 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。同様に 2008 年については、図 35 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 28cm 以上を示しており、2009 年については、図 36 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 28cm 以上を示している。一方、各年とも 100m 地点より遠方では標高水位差が 28cm 以下となっており、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。

5.2 地下水位制御による牧草生産性への影響調査

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 37 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

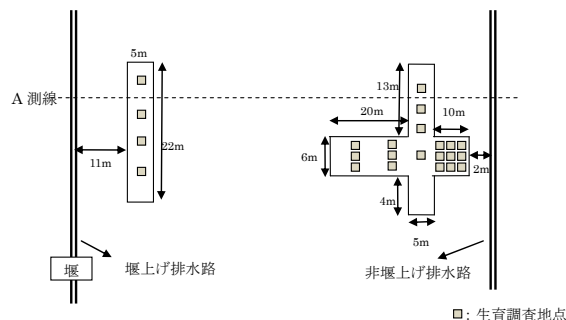


図 37 生育調査試験区の概要図

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、シロクローバ(品種:ソーニャ)を 0.2kg/10a である。

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、二番草は 2008 年では 8 月 30 日、2009 年では 9 月 9 日に実施した。

5.2.2 結果及び考察

図 38, 39 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

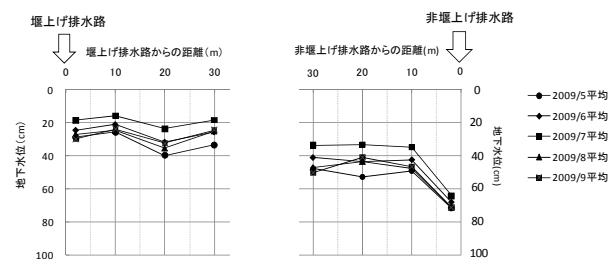


図 39 A 測線で観測した地下水位(2009 年)

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、非堰上げ側の両方とも地下水位の季節的変化は小さかった。

図 40, 41 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 日では、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。

図 42 に 2008 年一番草の乾物重を、図 43 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

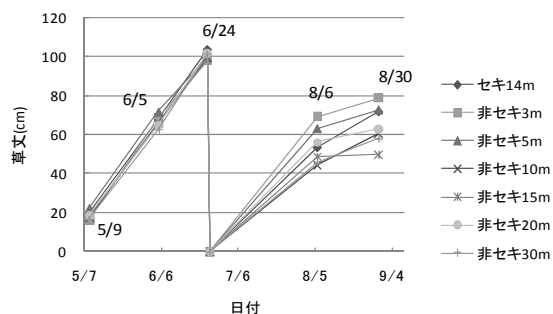


図 40 草丈の推移(2008 年)

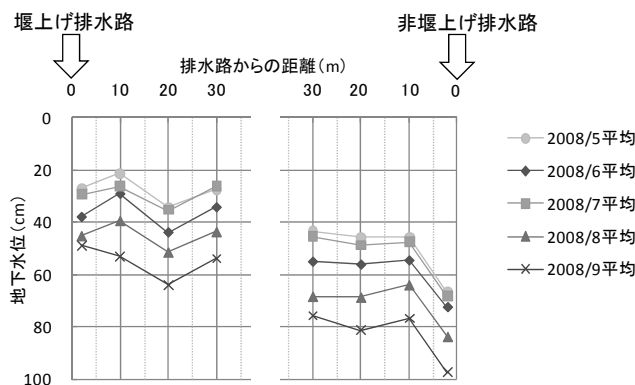


図 38 A 測線で観測した地下水位(2008 年)

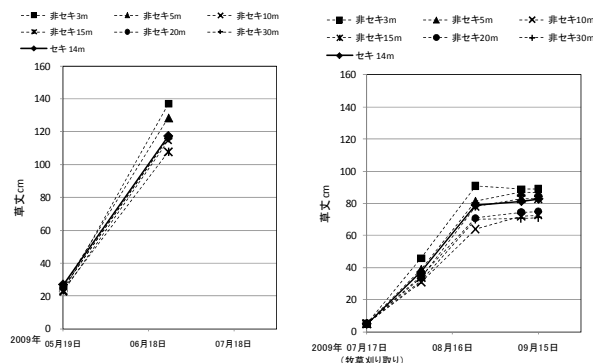


図 41 草丈の推移(2009 年)

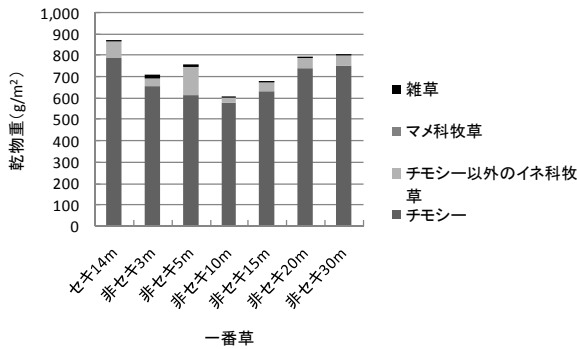


図 42 一番草の乾物重

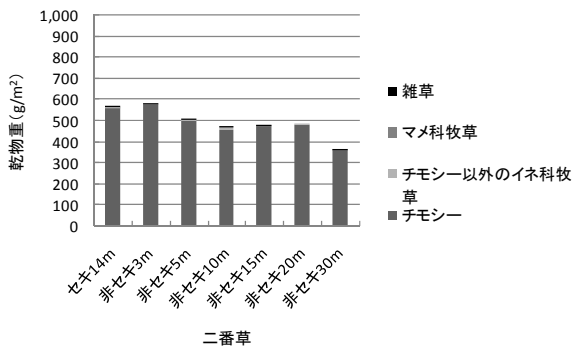


図 43 二番草の乾物重

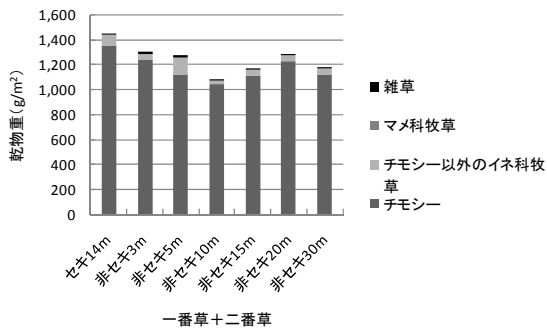


図 44 年間の乾物重 (2008 年)

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44)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45に2009年の年間乾物重を示したが、

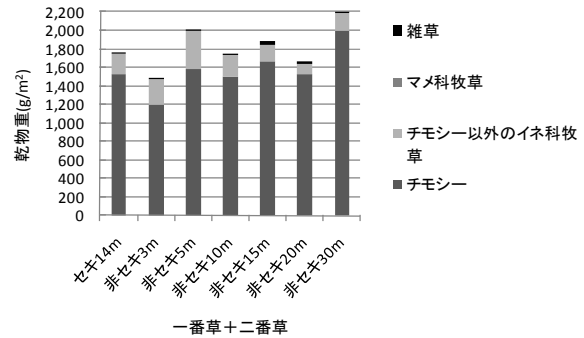


図 45 年間の乾物重 (2009 年)

2009年ではセキ14m地点の乾物重量は1,810g/m²であり、非セキ6地点の平均乾物収量1,746g/m²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。

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、「非セキ〇〇m」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、大起理化学工業(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5月24日、8月24日、9月16日、11月16日の4回実施した。

5.3.2 結果及び考察

測定結果を図46~49に示す。測定結果の貫入抵抗値は、ほぼ0.5MPa~1.0MPaの間で推移した。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、両試験区に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

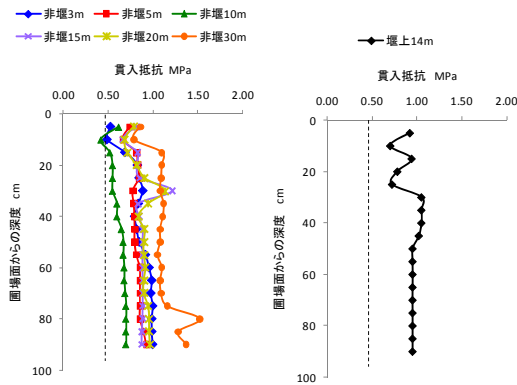


図 46 貫入抵抗 (2009 年 5 月 24 日)

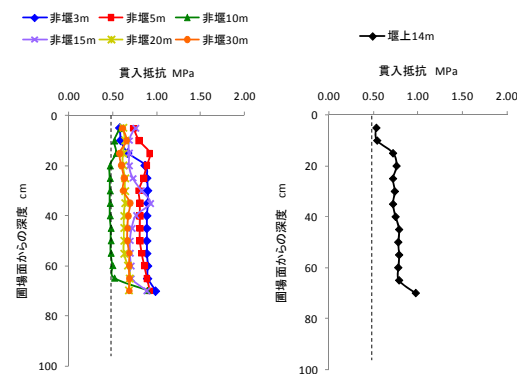


図 47 貫入抵抗 (2009 年 8 月 24 日)

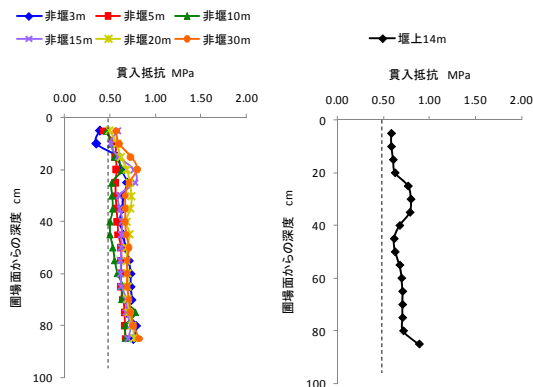


図 48 貫入抵抗 (2009 年 9 月 16 日)

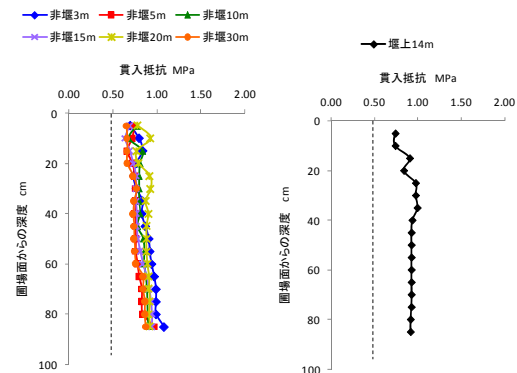


図 49 貫入抵抗 (2009 年 11 月 16 日)

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. 泥炭農地の地下水水位制御にともなう環境負荷軽減効果の解明

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、鉍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水位を高く維持することができる。図 50 にガス採取箇所の概要を示す。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 か所設けた。表 3 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 51)。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

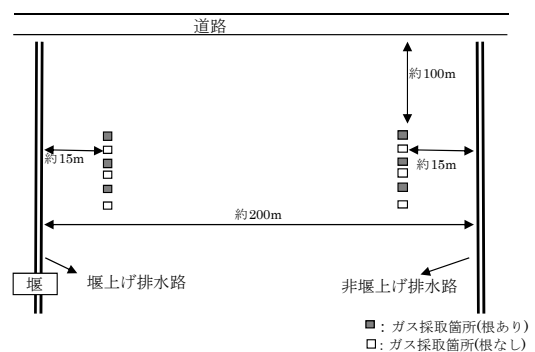


図 50 調査圃場の概要

表3 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51 地表面の状況(左:根なし、右:根あり)



図52 チャンバーの設置状況

ごとにシリンジでチャンバー内のガスを引き抜いた(図52)。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8月25日、9月14日、10月19日、11月9日、12月1日の計5回である。

6.2 結果及び考察

図53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。

表4にガス採取日における地下水位およびpFを示す。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。10月の調査以降のpFで陽圧と表示されている日は、土壤中から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。

図54に地温とCO₂フラックス(土壌呼吸速度)の関係を示す。地温(絶対温度、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⁾。図54のいずれの試験区の結果もアレニウス式で近似できた。地温が285K(摂氏12°C)付近のCO₂フラックスがやや少ない傾向にあるが、これは10

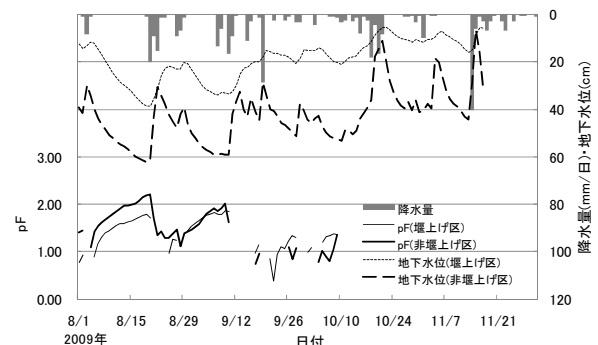


図53 日降水量、地下水位および土壌水分張力(pF)の推移

表4 ガス採取日における地下水位および土壌水分張力(pF)

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

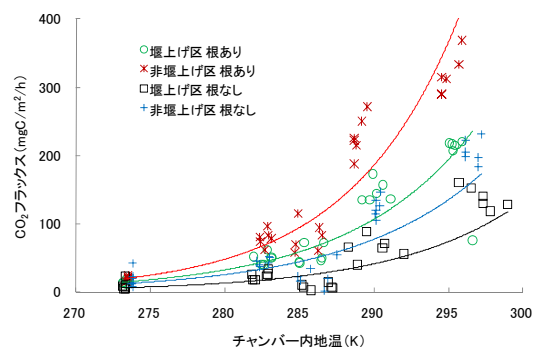


図54 地温とCO₂フラックス

月の調査結果であり、上述のように調査地点が湛水していたことが影響していると考えられる。

表5に処理区毎のCO₂フラックスの平均値を示す。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。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。

表5 処理区毎のCO₂フラックスの平均値

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両区間において、5%水準で有意差あり

図55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6に処理区毎のN₂Oの平均値を示す。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。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。

CH₄については、いずれの調査日においても検出する

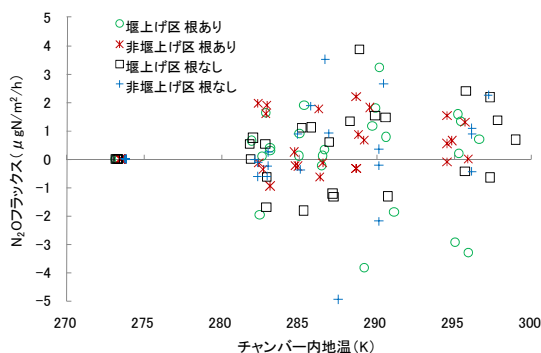


図55 地温とN₂Oフラックス

表6 処理区別のN₂Oフラックスの平均値

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両区間において、5%水準で有意差あり

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。今回の調査で用い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。

7. まとめ

平成18年度~21年度は、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、造成後10年目までは5.3cm/年の沈下速度であった。その後の36年間では2.7cm/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、非堰上げ側のいずれの調査地点より多い結果となった。一方 2009 年は堰上げの有無による収量の違いはなかった。これは、降雨が多い場合には非堰上げ側圃場での地下水位も高くなるため、収量の差が生じなかったと考えられる。

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。

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、土壤の物理性 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) 土壤診断の方法と活用、藤原俊六郎、安西徹朗、加藤哲朗著、p. 69、1996
- 18) 土壤圏と地球温暖化、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、土壤の物理性 113 号、pp. 3-12、2009.

DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY PRESERVATION TECHNOLOGY FOR PEATY FARMLAND

Abstract : The purposes of this study were to monitor the settlement status of peaty farmland ground and to prevent its settlement by developing a method of controlling peat decomposition, which is one of the causes of such settlement. The results of a survey on grassland settlement over a period of 46 years from immediately after the ground's development revealed an ongoing gradual process of settlement and other phenomena characteristic to long-term farmland settlement. As a result of burying a known organic material in the test field and measuring the extent of its decomposition to monitor the long-term decomposition status of peat, it was found that the residual ratio was higher when the buried depth was below the groundwater level. A test to increase the water level in a drainage channel attached to farmland by installing a weir in it revealed that the standing water in the channel controlled the level of groundwater in the field at a point 40 to 70 m from the channel. The values of pasture yield and soil bearing capacity were similar to those in the case of normal drainage management even when the groundwater level was kept high. It was also found from greenhouse gas measurement that CO₂ emissions could be reduced significantly by maintaining a high groundwater level.

Key Words : peat, decomposition, subsidence, inhibition, groundwater level, greenhouse gas