

地下水位の調節による 湿原植生の保全と復元

CONSERVATION AND RESTORATION OF MARSHLAND VEGETATION BY CONTROL OF GROUNDWATER LEVEL

赤岩 孝志¹・山下 彰司¹・村上 泰啓¹
Takashi Akaiwa, Shoji Yamashita, Yasuhiro Murakami

¹正会員 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 水環境保全チーム
(〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)

Hokkaido is known for the landscapes of its wetlands, which occupy more than 60% of all wetlands in Japan. One of these, Sarobetsu Mire, in northern Hokkaido, have valuable high moors, animals, birds and rare plants in these area. However, in recent years, Sarobetsu mire has been facing the problem of drying caused by development and changes in its hydrological cycle. And more, drying process has allowed to invade the dwarf bamboo.

This study examines an effect of restraint of dwarf bamboo activity by control of groundwater level and possibility of restoration of marshland vegetation by chipping off the dwarf bamboo in the groundwater level controlling area at study area.

Key Words : marshland, dwarf bamboo, groundwater level

1. 調査の概要

本研究で対象とするサロベツ湿原は北海道北部、天塩川水系サロベツ川の中・下流部に広がり(図-1)、昭和49年に利尻礼文サロベツ国立公園の一部にも指定され、多様な動植物の遺伝子源、洪水調節、水資源確保、気象緩和、環境教育の場といった多角的機能が認識されている。

終戦後、サロベツ湿原では農地開発等を目的に排水路の整備等が進められた結果、近年の降水量の低下も相まって湿原周辺の地下水位は低下傾向をみせ、乾燥化に伴うササ植生の侵入、湿原植生の喪失が懸念されている。

羽山らの既往の研究^{1), 2)}では、サロベツ川流域全体の地下水位シミュレーションが行われ、降水量と河川水位の低下による地下水位の低下と湿原乾燥化の関係が明かされるとともに、河川水位を堰上げすることで流域内の地下水位の回復を図る可能性が示された。さらに、佐藤ら³⁾は、湿原域と既存土地利用域の境界域での地下水コントロールによる湿原植生復元の基礎資料を供している。

そこで本研究では、湿原域と既存の土地利用域(農地等)の境界で地下水位をコントロールし、既存の土地利用域を維持しながら湿原植生を保全・復元する可能性に

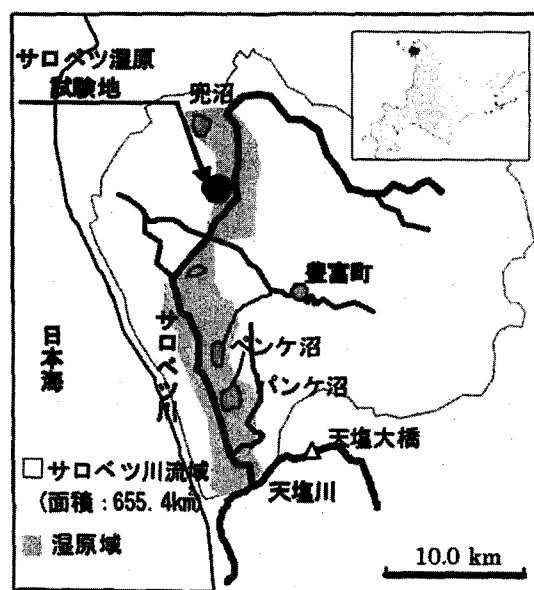


図-1 サロベツ川流域図と試験地の位置

について検討した。

図-1に示す位置の圃場に隣接するササ地を実験区域とし、隣接する排水路を堰上げし地下水位を高く維持する

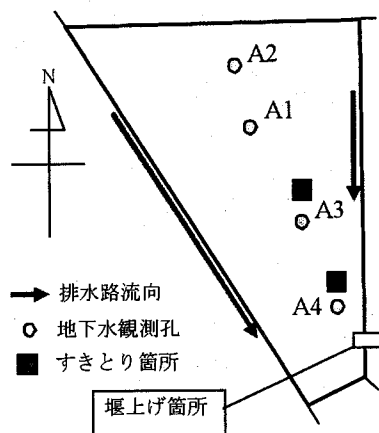


図-2 実験区域の位置関係

表-1 各観測孔の位置情報と絶対的地下水位

観測孔	地盤高 (m)	排水路からの直近距離 (m)	地下水位 (標高 (m))
A1	5.31	53	5.01
A2	5.42	59	5.09
A3	5.48	24	5.02
A4	5.36	7	5.19

表-2 各観測所の位置 (距離は試験区域からの直線距離)

観測地点	距離 (km)	標高 (m)	緯度経度
稚内	28	3	N 45° 24.9' E 141° 40.7'
沼川	16	23	N 45° 14.9' E 141° 51.1'
豊富	10	12	N 45° 6.1' E 141° 46.7'
天塩	28	9	N 45° 53.6' E 141° 45.6'

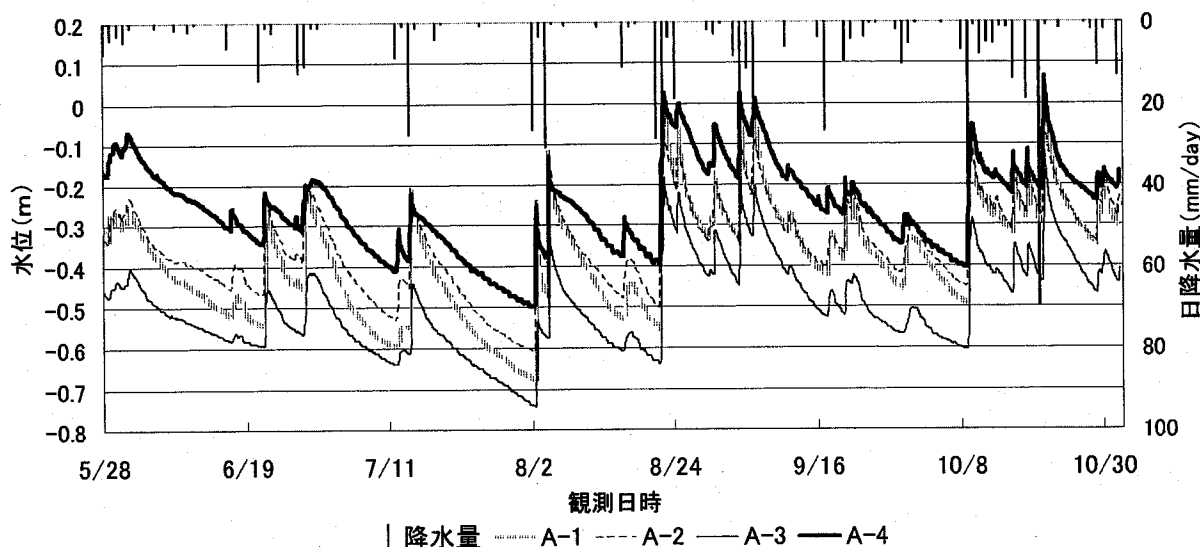


図-3 各地下水観測孔における地下水位の変動と期間中の日降水量推定値

ことで、ササ植生が受ける影響について調査した。

調査項目として、地下水位が異なると考えられる4点で5月28日から10月31日まで地下水位の連続観測を行うとともに、堰上げ直上部を含めて3度の採水・水質分析を行った。また、各地下水観測孔の東西南北に2m四方 (4m²) の調査区域を確保し、5月～10月まで月末に1回のササ生育調査を行った。さらに、地下水位の異なる2箇所、すきとり後の裸地に再生する植物種や再生状況を夏季 (8月29日)、秋季 (9月27日) の2時期調査した。なお、実験区域の位置関係の概要は図-2に示す。

2. 水文環境

まず、試験区域の水文環境について整理する。図-3に

観測を行った期間の4観測地点の地下水位の変動と降水量の推定値を、表-1に4観測地点の位置情報と観測開始時の地下水位 (標高) を示した。図-3の地下水位は地表面を0.000mとした相対的な地下水位を示しており、大規模な降水時にはA4地点など水位が地表面上まで上昇しているほか、降水時に各地点間の地下水位の差が小さくなることはあっても、基本的にA4地点が高地下水位、A1・A2地点が中地下水位、A3地点が低地下水位となっていることがわかる。

降水量の推定値は、試験区域での降水量を近隣のアメダス観測所のデータを用いた推定式によって求めた。推定に用いたアメダスデータは稚内測候所、沼川アメダス、豊富アメダス、天塩アメダスの4地点のデータであり、各観測所の位置情報 (試験区域との直線距離、標高、緯度経度) は表-2に示したとおりである。

推定式として、各観測所と試験区域との距離 (1乗、2乗、3乗) の逆数を重みとした重みつき平均の式をた

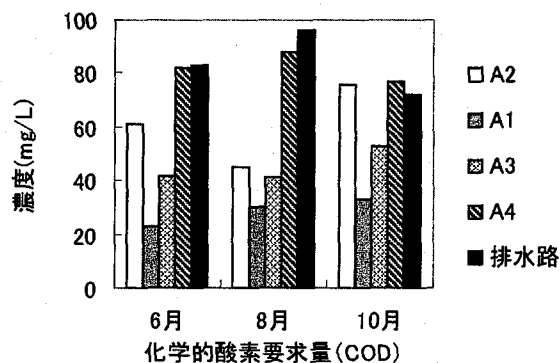


図-4 各地下水観測孔と排水路の水質の推移

て、実地での気象観測を行った平成17年度の値において実測値と推定値との相関を比較した。その結果、最も相関係数の高かった距離の3乗の逆数を重みとした(1)式(相関係数0.958)を用いて推定値を求める。

$$R_h = \frac{\frac{1}{28^3} R_w + \frac{1}{16^3} R_n + \frac{1}{10^3} R_T + \frac{1}{28^3} R_l}{\sum W} \quad (1)$$

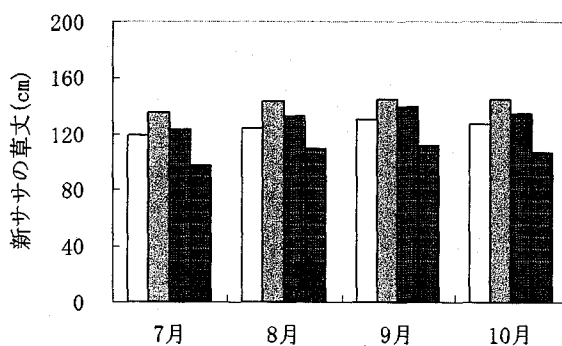
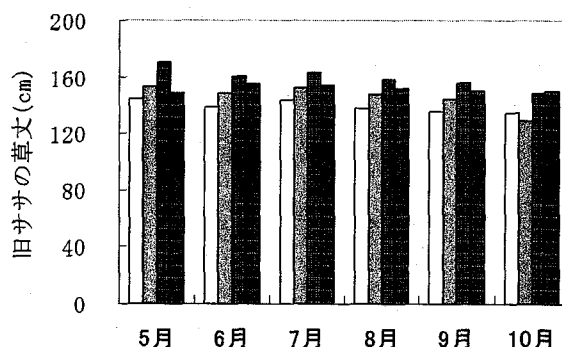
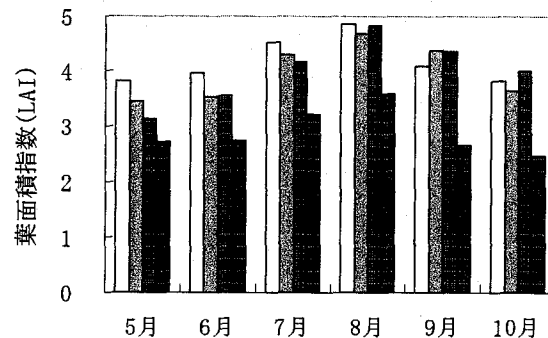
ここで R_h : 試験地降水量, R_w : 稚内降水量, R_n : 沼川降水量, R_T : 豊富降水量, R_l : 天塩降水量,

$\sum W$: 重みの総和である。

もともと相対的地下水位の高いA4地点は絶対的な地下水位も高いが、もともと相対的地下水位の低いA3地点は絶対的な地下水位ではA1地点と同程度で、地盤の高さが相対的地下水位の低さの要因と考えられる。A2地点はもともと東側の排水路からの距離が遠いにも関わらず絶対的な地下水位がやや高い。また、図-4に水質分析項目のうち化学的酸素要求量(COD)の推移を示すと、東側の排水路から距離が遠くなるにつれて濃度が下がる傾向があるが、A2地点は挙動が異なっていた。この傾向は他の有機物指標においても同様で、排水路側から試験地側へ水が地下を浸透する間に有機物が腐植物質の更新とさらなる腐植化などの過程⁹⁾により土壤中に取り込まれ、地下水中の濃度が減少したなどの理由が考えられる。以上のことからA1, A3, A4地点は東側の排水路の影響を受けており、A2地点は北側の排水路の影響もを受けていると思われる。

3. ササの活性度

地下水位の高低がササの活性度に与える影響を把握するため、ササの生育調査において、葉面積指数(LAI)のほか、草丈、葉数、葉長および葉緑素量(SPAD(Soil &



□A1(中地下水位) ■A2(中地下水位)
■A3(低地下水位) ■A4(高地下水位)

図-5 ササの生育調査項目の推移

Plant Analyzer Development) 値) の調査を行った。LAIとは単位地表面積に対するその上方に存在する全ての葉の表側の面積の総和であり、プラントキャノピーアナライザー(LAI-2000)を用いて測定した。草丈などの項目は、調査箇所の標準的な個体10本を選んで、5月~10月まで同一個体を継続調査した。さらに、7月に新たに生育していたササを対象に10個体を選び、継続調査を開始した。以降、5月から調査したササを旧ササ、7月から調査したササを新ササと呼称し、値は各観測地点での観測値の算術平均値を用いた。

図-5はササの生育調査項目から一部を抜粋しグラフ化したものである。まずLAI値を比較すると、相対的地下水位のもっとも高いA4地点が観測期間を通じて明らかに低い傾向がみられた。残る3地点は、5月と6月ではA1地点が高めの傾向をみせるが、それ以降はほぼ差異が

表-3 被度・群度の判定基準

被度	地上部の投影面積の比率(%)
5	3/4以上
4	1/2～3/4
3	1/4～1/2
2	1/10～1/4
1	多数だが投影面積1/10以下
+	少数で被度が非常に低い

群度	配分状況
5	大群をなす
4	大斑か絨毯を形成
3	小斑、或いはクッション状
2	小群または叢状
1	単生している

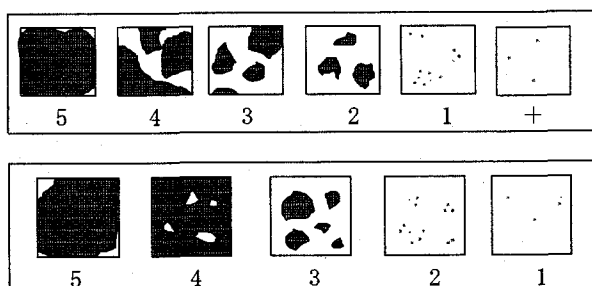


図-6 被度(上)と群度(下)の模式図

なくなっていた。なお、ササ植生のLAI値は一般的に5から7と言われているが、もっともLAI値の高くなっている夏季(8月)においてもいずれの地点も5は越えていなかった。以上のことから、地下水位を高く維持することによりササの生育は抑制され、地下水位がとくに高い地点ではより強い影響があると考えられる。

一方、旧ササの草丈の推移では、A1、A2地点の値がやや低いが、LAI値で見られたような傾向がみられない。そこで、新ササの草丈の推移をみると、LAI値と同様にA4地点が観測期間を通じて低い値を示した。葉数、葉長においても類似した傾向を示したことなどから、地下水位のササの生育に対する影響は、新たに発生する個体や生育初期に対してとくに大きいと考えられる。なお、SPAD値は新・旧ササともに大きな差はみられなかった。

以上から、地下水位を高く維持することによるササの活性度の抑制効果は新規に生育するササに対して特に大きいと推察できる。

4. 植生の復元可能性

4地点のうち、もっとも相対的地下水位が高いA4地点の北側と、もっとも相対的地下水位が低いA3地点の北側で、ササを含む表土を20cmの深さですきとり(A4:5月26日、A3:6月7日)、その後の裸地を試験区域として、試験区域に再生する植物種および再生状況を夏季(8月29日)と秋季(9月27日)の2時期にわたり調査した。

表-4 試験区域の湿生植物の繁茂状況

試験区	A3		A4	
調査日	夏季	秋季	夏季	秋季
植被率(%)	30	35	50	70
出現種(湿生植物)	被度・群度			
ヨシ	3・3	3・3	3・4	4・4
クサヨシ	+	+	+	+
エゾヤナギ	+	+	+	+
イワノガリヤス	+	+	+	+
イ	1・1	+	+	1・1
ガマ			+	1・2
イヌゴマ				+
スゲ属の一種	+			
オノエヤナギ	+		+	+
タチヤナギ			+	
エゾノキヌヤナギ	+		+	+
オオバセンキュウ			+	+
湿生植物種数	8	5	10	10
全種数中の割合(%)	45	39	53	50
※クマイザサ	+	+	+	+



写真-1 低地下水位点(上)と高地下水位点(下)の復元状況

調査手法はブラウン・ブランケの全推定法を用いる。この方法は、調査対象の範囲に生育している全ての植物種を対象として、被度と群度の2つの指標を用いて繁茂度合いの状態を知る方法である。被度および群度の判定基準を表-3に、その模式図を図-6に示した。なお、被度が+の場合は群度を測定しない。

以上の評価手法を用いて、すきとり後に再生した試験区域の調査結果を表-4に、秋季(9月27日)の復元状況写真を写真-1に示す。また、試験区域全体の植生による被覆率と試験区域中の全植物種数に占める湿生植物の割合

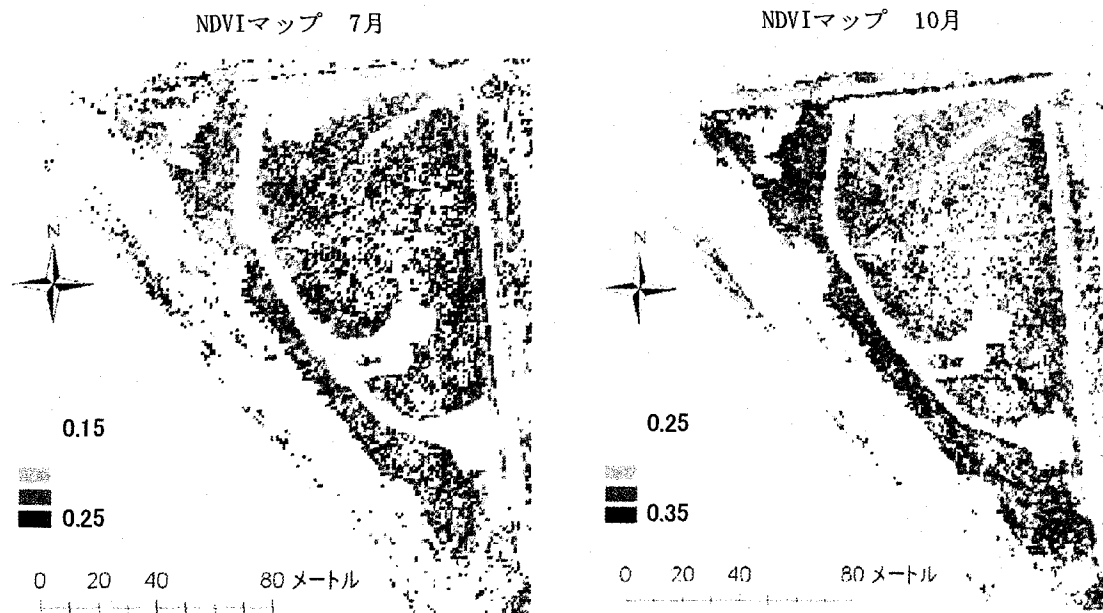


図-7 リモートセンシング画像からササ地を抽出して作成した相対NDVIマップ

も記した。写真-1に示されるように、低地下水位点は裸地が目立つのに対して高地下水位点では全体的に植生が被覆しているなどの違いはあったが、どちらの試験区域においても優占したのは湿生植物のヨシであった。また、すきとり前に優占していたクマイザサは両地点とも少数が外縁部に生育しているのみで被度は非常に低い。さらに、湿生植物の種数に着目すると、A4地点では夏季、秋季ともに10種類（内訳には変化あり）であったのに対し、A3地点では夏季には8種類が確認されていたのが秋季では5種類と減少している。各植物種の被度・群度に着目した場合でも、A4地点ではヨシ、イ（イグサ）、ガマの3種において夏季から秋季にかけて被度の階級が上がっているが、A3地点では逆にイ（イグサ）において夏季から秋季にかけて被度の階級が下がっているなど、湿生植物の活性に差があることがわかった。

以上より、地下水位を高く維持した地点ですきとり等により優占しているササを除去すれば、湿原性の植生が復元する可能性が示唆された。また、地下水位の高低により湿生植物の活性が受ける影響は大きく、より高い地下水位を維持することで湿原植生の復元の度合いがより高まると考えられる。

5. NDVIマップを用いたササ活性度の広域評価

7月2日、10月5日の2時期に実験区域のリモートセンシング画像を撮影し、それを元にして正規化植生指数（NDVI）マップを作成した。NDVIとは簡易な計算で広域の植生の状況を把握するために考案された指標で、植物

の葉緑素が赤波長（620～690nm）の光（VIS）をよく吸収し、近赤外波長（720～1200nm）の光（NIR）を強く反射することから、赤波長・近赤外波長の光の反射強度の差を用いて算出される値（式（2））である。なお、植生が増えるほど数値は高くなり、植生に覆われた箇所は一般的に0.1～0.7の値をとる。

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS) \quad (2)$$

6月28日の現地踏査の結果と、7月2日撮影のリモートセンシング画像を、解像度がそれぞれ10cm、50cm、1m、2m、3m、5m、10m、20mの場合に分けて比較して、もっとも判別率の高かった解像度1mの画像を広域解析に使用する。なお、より解像度の高い10cmと50cm解像度で判別率が低かった理由は、解像度が高すぎるためにノイズが多くなったことによると考えられる。

7月と10月のリモートセンシング画像を用い、実験区域からササ地を抽出し、NDVI図を作成した（図-7）。相対的なNDVI値が高いほど濃く、低いほど薄く表示されている。7月時点では、中央付近でややNDVI値が高いものの全体的に不均一だった。これは、7月においては新ササの生育が十分でなく、主に旧ササの値が反映された結果と考えられる。クマイザサの稈（地上部）の平均寿命は開放地でおおよそ3年程度⁵⁾といわれており、旧ササは排水路の堰上げによる地下水位上昇の影響を受けていない個体が多く、実験区域内でササ活性度に大きな差が出なかったと推察できた。新ササが十分生育してくる10月には、地下水位が低いとみられる排水路の堰上げ下流部および排水路からの距離が遠い実験区域の西部でNDVI値が相対的に高い。これは、高い地下水位によって新規に生育するササの生長が抑制されるという、3節の結果にも

表-5 NDVI値と生育調査項目間の相関関係

リモートセンシング画像				現地調査		
①	7月2日			6月28日		
②	10月5日			9月27日		

調査時期①						
NDVIとの	LAI	草丈	葉数	葉長	SPAD	LAI×SPAD
相関係数	0.51*	-0.06	0.22	0.44	0.40	0.58*

調査時期②						
NDVIとの	LAI	草丈	葉数	葉長	SPAD	LAI×SPAD
相関係数	0.69**	-0.01	0.13	0.12	0.75**	0.76**

*: 5%水準で有意
**: 1%水準で有意

*: 5%水準で有意
**: 1%水準で有意

即したものと判断できる。

次にNDVI値がササ活性度の何を評価しているかを検討する。3節で検討したササの生育調査項目とNDVI値の相関係数を表-5にまとめた。なお、リモートセンシング画像では新ササ、旧ササといった分類は出来ないため、草丈、葉数、葉長およびSPAD値は旧ササ、新ササの値を平均した値を使い相関係数を算出している。7月、10月の2時期とも相関係数が高めの値を示すのはLAI値とLAI×SPAD値で、LAI×SPAD値がもっとも高い相関を示した。LAI値がバイオマス量、SPAD値が葉緑素量を示すことから、LAI×SPAD値は総葉緑素量を示すと判断でき、NDVI値が評価しているのは総葉緑素量と考えられ、これはNDVI値の定義からも妥当といえる。また、実際に測定したササの生育調査項目との相関でみると、NDVI値はLAI値を間接的に評価していると判断でき、NDVIマップから間接的に広域のLAIを評価できると示唆された。

6. おわりに

(1) まとめ

本研究で得られた知見を、以下に示す。

a) ササの活性度

実験区域の地下水位が異なる4地点においてササの活性度調査を行った結果、相対的地下水位の高い地点でLAI値が明らかに低かったほか、とくに新規に生育するササにおいて草丈などの項目で生長を抑制されていると判断できた。このことから、地下水位をコントロールすることによりササ植生の活性を抑制し、湿原域へのササ植生の侵入を抑えることが可能と考えられる。

b) 植生の復元

相対的地下水位の高い地点と低い地点で表土のすきとりを行ったところ、その後の裸地においては両地点ともすきとり前に優占していたクマイザサではなく、湿生植物であるヨシが優占して繁茂した。また、相対的地下水位が高い地点では、相対的地下水位が低い地点に比べて

再生した湿生植物の活性度合いが高く、多種の湿生植物が生育するとともに、その被覆も多かった。以上から、すでにササの侵入した湿原域においても、すきとり等によってササを除去することで湿原性の植生を復元できる可能性が示唆された。

c) ササ活性度の広域的評価

リモートセンシング画像を用いて実験区域のササ植生の活性度の広域的な評価を試みた結果、NDVIマップを作成することでLAI値を間接的に評価することが出来ると判断できた。また、NDVIマップから、新ササの生育が十分でない時期では実験区域全体のササの活性度は不均一だが、新ササが十分に生育してくる時期では地下水位が低いと考えられる位置のササの活性度が相対的に高くなっており、a)で得られた結果と同様、地下水位が高く維持されている箇所では新規のササの生育が抑制されていると考えられる。

(2) 今後の方針

引き続き同実験区域のササの活性度を継続調査し長期的な推移を把握する。とくに、地下水位を高く維持した影響を受けた昨年における新ササの今年の生育状態の傾向などから、地下水位のコントロールによるササ活性度の抑制の長期的な効果を検討する。

さらに、すきとりを行った試験区域において、今後ササが再度侵入する可能性も含めて長期的な変遷を把握し、引き続き湿原植生の復元可能性について検討する。

謝辞：本研究を行うにあたり、豊富町役場から実験区域の提供を頂いた。また、本研究は国土交通省北海道開発局からの受託研究費による補助を受けて行ったものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 羽山早織, 中津川誠: 湿原植生の変化をもたらす水文要因の解析, 水工学論文集, 第48巻, pp. 391-396, 2004.
- 2) 羽山早織, 中津川誠: サロベツ湿原の地下水位と植生変化について, 北海道開発土木研究所月報, No. 612, pp. 3-20, 2004.
- 3) 佐藤嘉昭, 山下彰司: 湿原域の保全に関する一考察 - サロベツ湿原を例として -, 平成17年度北海道開発局技術研究発表会論文集(CD-ROM), 環-22, 2006.
- 4) 米林甲陽: 土壌の有機物, 最新土壌学, pp. 43-45, 1997.
- 5) Takashi Yajima: A Survey on the Quantity of Dead Leaves and Culms of *Sasa senanensis* in a Mixed Forest, RESEARCH BULLETINS OF THE COLLEGE EXPERIMENT FORESTS HOKKAIDO UNIVERSITY, VOL.45, NO.3, pp.683-690, 1988.

(2007.4.5受付)