原著論文 ORIGINAL PAPER

自然再生事業区域釧路湿原広里地区における湿原環境の実態 —植生と環境の対応関係からみた攪乱の影響評価—

中村隆俊¹⁾・山田浩之²⁾・仲川泰則³⁾・笠井由紀⁴⁾・中村太士⁵⁾・渡辺綱男⁶⁾

1) 北海道教育大学釧路校教育学部生物学教室 〒085-8580 釧路市城山1-15-55

2) 北海道大学大学院農学研究科地域環境学講座 〒060-8589 札幌市北区北9条西9

3) 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター森林圏ステーション北管理部
〒096-0071 北海道名寄市徳田250

4) 環境コンサルタント株式会社環境部 〒088-0606 釧路郡釧路町中央6-15-2

5) 北海道大学大学院農学研究科森林管理保全学講座 〒060-8589 札幌市北区北9条西9

6) 環境省自然環境局東北海道地区自然保護事務所 〒085-8639 北海道釧路市幸町10-3

Takatoshi NAKAMURA¹⁾, Hiroyuki YAMADA²⁾, Yasunori NAKAGAWA³⁾, Yuki KASAI⁴⁾, Futoshi NAKAMURA⁵⁾ and Tsunao WATANABE⁶⁾: Ecological aspects of Hirosato restoration area in the Kushiro Mire: Impacts of artificial disturbances on the relationship between distribution of vegetation and hydrochemical environments. *Ecol. Civil Eng.* 7(1), 53-64, 2004.

1) Department of Biology, Hokkaido University of Education at Kushiro, 1-15-55 Shiroyama, Kushiro 085-8580, Japan

2) Department of Agricultural Engineering, Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Kita 9 Nishi 9, Kita-ku, Sapporo 060-8589, Japan

3) Northern Forestry Research and Development Office, Forest Research Station, Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University, Tokuda 250, Nayoro 096-0071, Hokkaido, Japan

4) Kankyo Consultants Co., Ltd., Chuo 6-15-2, Kushiro-cho, Kushiro-gun 088-0606, Hokkaido, Japan

5) Department of Forest Science, Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Kita 9 Nishi 9, Kita-ku, Sapporo, 060-8589, Japan

6) Eastern Hokkaido Regional Office for Nature Conservation, Nature Conservation Bureau, Ministry of the Environment, 3, Saiwai-cho 10-chome, Kushiro 085-8639, Hokkaido, Japan

Abstract: Deteriorations of vegetation and hydrochemical environments were examined in the Hirosato restoration area on the margins of Kushiro Mire, where agricultural land use and a drastic increase of alder forest have influenced the ecosystem for the last past half-century. The vegetation was classified into seven types, where the meadow types dominate in the pasture area and the alder or fen types are distributed in the mire area. A following Canonical Correspondence Analysis shows two major results: 1) A vegetation gradient from the mire area to the pasture area corresponding to the obvious lowering of the groundwater level, 2) A vegetation gradient from the fen types to the alder types in correspondence to the lowering of the groundwater level and to the decrease of phosphorous concentration cou-

2004年2月17日受付, 2004年6月27日受理

1) e-mail: taka@exfor.agr.hokudai.ac.jp

pled with the increase of nitrogen concentration in soil water. The intense decrease of the groundwater level in the pasture area due to the diversion of the neighboring river has probably changed the mire vegetation into meadow vegetation, indicating that serious deteriorations have been introduced artificially. In the mire area, the distribution of the alder forest was mostly affected by hydrological regime in flooding, yet artificial influences could not be specified.

Key words: alder forest, artificial disturbance, CCA, fen, vegetation

はじめに

湿原は、水文化的な緩衝機能や生物多様性の維持など、多面的な役割を持つ貴重な地域資源であり、重要な生態系の一つであることが社会の共通認識として近年急速に浸透している（例えば National Research Council 1992; Verhoven 1992）。しかし、20 世紀初頭からの人間活動の急激な活発化によって、平野部にかつて広く分布した低地湿原の多くが既に失われている（例えば National Research Council 1992; Vermeer & Joosten 1992）。さらに、現存する湿原についても、富栄養化や乾燥化、酸性化など何らかの人為的な影響を少なからず受けている（例えば Ehrenfeld & Schneider 1991; D. Mars et al. 1996; Verhoeven et al. 1996; Gunnarsson et al. 2000）。そうしたなかで、多くの湿原では急速な植生の変化が報告されており、それらの保全・再生に関する研究が欧米を中心に進められている（National Research Council 1992; Beltman et al. 1996; Verhoeven et al. 1996; Budelsky & Galatowitsch 2000; Gunnarsson et al. 2000）。

国内の低地湿原についても同様な状況にあり、法的な保護下でない湿原の多くは農耕地や市街地へと転換され、比較的多くの湿原が現存する北海道でも約 7 割もの湿原面積が既に消滅したとされている（例えば富士田 1997）。また、かろうじて残存する湿原についても、排水路の掘削や土壌改良などの直接的な人為攪乱を受けているものが多い（例えば Yabe & Nakamura 2002）。国内最大の湿原であり古くから国の天然記念物にも指定されてきた釧路湿原でさえも、法的な保護が薄く人間活動地域と近接する外縁部では同様な直接的な人為攪乱が既に及んでいる（Nakamura et al. 2002a; 中村ほか 2003）。また、湿原における急速な植生変化としてササの進入や樹林化が各地で確認されており（例えば橘 2002）、釧路湿原においても外縁部を中心にハンノキ林の分布面積が急激に増加している（新庄 2002; Nakamura et al. 2004）。釧路湿原におけるハンノキ林増加の原因の一つとして、河川から湿原への土砂流入が指摘されているが、そのような土砂流

入のほとんど無い地域においてさえも樹林化の進行が報告されており、その原因の全貌はまだ明らかにされていない（中村ほか 2003）。自然保護の世論の高まりと共に国内でも湿原生態系の保全に注目が集まりつつあるが、植生や環境に関する劣化の評価や人為的攪乱の影響評価という視点から行われた研究は非常に限られている（矢部ほか 1999）。

このような状況をふまえ、釧路湿原では国家事業として自然再生事業がスタートし、生態系の劣化状況の把握やその原因の特定および保全・再生方法の模索が試みられている（中村・中村 2003; 山田・中村 2003）。そのモデル地区として詳細な調査が行われているのが、釧路湿原の辺縁部にあたる広里地区である。広里地区の一部は、かつて排水路の掘削や土壌改良資材の投入により農地に改変された時期があり、その後放棄されたまま現在に至っている。さらに、そのような直接的攪乱を受けずに残存する部分では、ここ数十年間で急激にハンノキ林が発達した経緯があり（松原ほか 2003）、国内の多くの湿原が抱えている農地改変と樹林化の 2 つの問題点を共に含んだモデル地区といえる。本研究では、広里地区における植生と環境要因の対応関係を農地改変とハンノキ林増加という視点で整理し、湿原生態系保全の立場から植生的な劣化とそれに対応する環境の劣化を評価することで、人為的攪乱の影響について検討した。

調査地および方法

調査地

調査地の広里地区（約 260 ha）は釧路湿原の南東部に位置する低地湿原である。広里地区の西側は新釧路川の築堤と隣接し、雪裡川の旧河道（以後旧雪裡川と記載）が同地区の北側から南東側を流れており、南側には 12 号支線川が位置する（Fig. 1）。釧路湿原の核心部を流下する雪裡川は、広里地区の直前で築堤によって分断され新釧路川と合流するため、雪裡川から旧雪裡川への水の供給は全くなく、南側に位置する 12 号支線川も状況は同じ

Fig. 1. Location of the study area and the lines examined. ○: continuous measurement point of water level.

である。旧雪裡川沿いの一部地域（約 80 ha）では、1970 年代の農地開発に伴う排水路の設置や土壌のかきおこし等の直接的な攪乱がなされたが、現在は放置され草原化している（排水路と旧雪裡川に囲まれた直接攪乱地域を旧農地区域：pasture area、それ以外の非直接攪乱地域を湿原区域：mire area と以後記載）。標高は海拔 1～3 m 程度で湿原区域の中心部分でやや高くドーム状となっており、旧雪裡川近辺と旧農地区域南部を除く全域が泥炭土壌である。湿原区域の中心にはハンノキ (*Alnus japonica*) を優占種とする湿性の中低木林が広く分布し、ムジナスゲ (*Carex lasiocarpa* var. *occultans*) やヨシ (*Phragmites communis*)、イワノガリヤス (*Calamagrostis langsdorffii*)、ヤラメスゲ (*Carex lyngbyei*) 等で構成される湿性草原が中低木林を取り囲むように分布している。また、旧農地区域ではオオアワガエリ (*Phleum pratense*) 等の牧草種が出現する乾性草原も広く分布している。

植生調査

広里地区に分布する典型的な植生相観をカバーすることのできる 2 本の調査ライン (a ラインおよび b ライン) 上で、合計 121 カ所の調査定点を設けた。調査定点は、調査ラインを大まかな植生相観によって区切り、各区間への定点数をほぼ均等に配分し、定点配置間隔が区間内で均等距離となるよう設置した。2002 年 7 月に全調査定点にて 2 m × 2 m の方形区を設置し、方形区内に出現した維管束植物およびミズゴケ類の種名と被度 (%) および群落高を記録した。

地下水位調査

側面に約 10 cm 間隔で小穴を開けた内径 5 cm 長さ 3 m の塩化ビニール製パイプ (VP 50) を、各調査定点において地表面に対し垂直に約 2 m の深さまで埋設した。2002 年 6 月～11 月の期間、毎月 1 回全定点で調査を行い、地表面と塩ビ管内の水面との距離を計測することで地表面水位とした。水面が地表面位置にある場合は 0 cm とし、地表面より上方の場合は + 表記、下方の場合は - 表記とした。これらの地表面水位データは、各調査定点でそれぞれ平均値および標準偏差値（水位変動を表す指標）に換算して解析に用いた。また、湿原区域の調査ライン上において、植生の異なる 4 地点にそれぞれ自記式水位計を設置し (P 1～P 4, Fig. 1), 1 時間インターバルで 6 月 21 日～9 月 30 日の約 100 日間の地表面水位を継続的に観測した。

土壌水水質調査

各調査定点にて地下 10 cm～20 cm の土壌水を土壌水採取用ポーラスカップにより採取した。2002 年 7 月と 11 月の 2 回採水を行い、現場にて pH と電気伝導度 (EC) をポータブル水質計 (TOA HM-12 P, TOA CM-14 P) で測定した。採取されたサンプルは 0.45 μm メッシュのメンブレンフィルターで濾過を行った後、主要アニオン (Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}) と主要カチオン (NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) をイオンクロマトグラフィー法 (Dionex DX-500) により測定し、全溶存態窒素 (TDN) をアルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム分解-紫外線吸光光度法、全溶存態リン (TDP) をペルオキシ二硫酸カリウム分解法で測定した。7 月と 11 月の 2 回得られたこれらの水質データは、その中央値を各測定項目の解析データとして用いたが、7 月の EC 計測時にメカニカルトラブルによる欠測が一部の定点で起きたため、EC に関しては 11 月のデータのみを用いた。

統計解析

植生調査データにより各調査定点を統計的に分類するために、TWINSPAN (Two-way Indicator Species Analysis: 二元指標種分析) を用いた。植生劣化の評価に際し、種の量的相違 (被度の相違) は重要な情報の一つとなるため、TWINSPAN の解析過程では、Pseudo-species Cut Level を一般的な設定値よりも詳細な 0, 2, 5, 10, 20, 40, 60% とし、量的情報の欠如をできるだけ防いだ。また、出現頻度が 5 回以下の種は除外した。

TWINSPAN で分類された各植生タイプにおける環境特性の差異を検討するため、植生タイプ間での一元配置分散分析を行った。さらに、植生データと環境要因デー

タとの関連性を評価するために、CCA (Canonical Correspondence Analysis: 正準対応分析) を用いた。CCA 軸のスケーリングは、Biplot スケーリング法で行い、その際に用いるスケーリング定数 α (種・site 配列の最適化設定) は 0.5 とした。また、局在性の強い種による結果の歪みを防止するために出現頻度が 5 回以下の種を除外し、検出限界以下の数値が多数認められた土壌水の PO_4^{3-} 濃度を環境変数から予め除外した。これらの解析によって算出された CCA 軸の有意性を検定するために、モンテカルロテストを用いて植生マトリクスと環境マトリクス間に相関関係は存在しないという帰無仮説を検証した (無作為化試行回数は 100 回)。

TWINSPAN および CCA の解析ソフトは PC-ORD for Windows Ver. 4.17 (MjM Software Design 1999; McCune & Mefford 1999) を用い、一元配置分散分析には StatView for Macintosh Ver. 5.0 (SAS Institute Inc. 1998) を用いた。

各調査定点における種の豊かさと均等度を考慮した多様性を評価するために、シャノン指数 H' (Shannon & Weaver 1949) を次式により算出した。

$$H' = - \sum (p_i) \log_e p_i$$

ここで、 p_i は各種の相対優占度を表し、 $p_i = n_i/N$ で定義される。 N は一調査定点に出現する全種の被度の合計を表し、 n_i はその調査定点における種 i の被度を表す。

結 果

植生

TWINSPAN デンドログラムでは、第 2 階層から第 5 階層によって表現される系統群が示された (Fig. 2)。ここで、グループ区分の基準 (Cut level) を、より細分化された区分ができるだけ統一された階層レベルで得られる位置に設定した。その結果、第 2 階層しかもたない 3 系統はそのまま 3 つの区分とし、それ以上の階層構造をとる系統では第 4 階層で Cut level を統一することで 4 つの区分とした。これら合計 7 つの区分は、ハンノキやムジナスゲ、イワノガリヤス等の湿性種が優占する 5 つの植生タイプ (mire タイプ) と、比較的乾燥地を好むエゾオオヤマハコベ (*Stellaria radicans*) が優占する 2 つの植生タイプ (meadow タイプ) に大きく二分された (Table 1)。さらに、mire タイプは、ハンノキ優占タイプ (alder タイプ) と、カヤツリグサ科又はイネ科草本優占タイプ (fen タイプ) に細分された。以下に各植生タイプの特徴を示す。

Dwarf alder forest (ハンノキークシノハミズゴケ群落):

中間～高層湿原に多く分布するクシノハミズゴケ (*Sphagnum imbricatum*) やワラミズゴケ (*Sphagnum subfulvum*) が高頻度で出現する樹高 1.5 m 程度の矮性ハンノキ林。a ラインの地盤高が最も高くなる部分に集中的に分布した (Fig. 3)。

Alder forest (ハンノキームジナスゲ群落): 樹高 2.5 m 程度のハンノキ林。種組成は Dwarf alder forest と比

Fig. 2. Dendrogram and indicator-species derived from TWINSPAN analysis of the vegetation data.

較的類似するが、ミズゴケ類はほとんど出現しない。Dwarf alder forest を取り囲むように a ライン上に分布した。

Shrub fen (ムジナスゲ—ヤチヤナギ群落)：ムジナスゲやヨシが優占し、ヤチヤナギ (*Myrica gale* var. *tomentosa*) の出現が特徴的な植生タイプ。サギスゲ (*Eriophorum gracile*) やドクゼリ (*Cicuta virosa*) 等の湿原植物が多く出現し、b ラインの西端に分布した。

Sedge fen (ムジナスゲ—ヨシ群落)：ヤチヤナギを欠く以外は Shrub fen と類似した種組成をもつ典型的な低層湿原植生。b ライン中央部に分布した。

Graminoid fen (イワノガリヤス群落)：イワノガリヤスや

ヤラメスゲが多く出現する低層湿原植生。旧農地区域から湿原区域への移行帯に分布した。

Wet meadow (エゾオオヤマハコベ—ヤラメスゲ群落)：エゾオオヤマハコベやフタマタイチゲ (*Anemone dichotoma*) 等の草原性植物と、ヤラメスゲやツルスゲ (*Carex pseudocuraica*) 等の湿性植物を同時に含む植生タイプ。a ライン旧農地区域の中央部に分布した。

Hay meadow (エゾオオヤマハコベ—オオアワガエリ群落)：エゾオオヤマハコベやフタマタイチゲの他に牧草種であるオオアワガエリやナガハグサ (*Poa pratensis*) 等が高頻度で出現する乾性草原植生。a, b ラインにおける旧農地区域の旧雪裡川寄りに分布

Table 1. Characteristics of the seven floristic classification in Fig. 2.

Classification	Vegetation type	Community name	Mean community height (m)	Major species (Five species with higher coverages in each vegetation type)
Group 1	Alder	Dwarf alder forest	1.5	<i>A. japonica</i> , <i>Carex lasiocarpa</i> var. <i>occultans</i> , <i>Thelypteris palustris</i> , <i>Phragmites communis</i> , <i>Thalictrum aquilegifolium</i>
Group 2		Alder forest	2.6	<i>A. japonica</i> , <i>C. lasiocarpa</i> , <i>T. palustris</i> , <i>P. communis</i> , <i>Equisetum</i> sp.
Group 3	Mire	Shrub fen	1.2	<i>C. lasiocarpa</i> , <i>M. gale</i> , <i>T. palustris</i> , <i>P. communis</i> , <i>Hosta rectifolia</i> , <i>Calamagrostis lansdorffii</i>
Group 4		Sedge fen	1.3	<i>C. lasiocarpa</i> , <i>P. communis</i> , <i>T. palustris</i> , <i>C. lansdorffii</i> , <i>Carex pseudocuraica</i>
Group 5		Graminoid fen	1.3	<i>C. lansdorffii</i> , <i>Carex lyngbyei</i> , <i>C. pseudocuraica</i> , <i>C. lasiocarpa</i> , <i>Equisetum</i> sp.
Group 6	Meadow	Wet meadow	1.1	<i>S. radians</i> , <i>C. lyngbyei</i> , <i>C. pseudocuraica</i> , <i>C. lansdorffii</i> , <i>lathyrus palustris</i> var. <i>piilosus</i>
Group 7		Hay meadow	1.2	<i>S. radians</i> , <i>P. pratense</i> , <i>Anemone dichotoma</i> , <i>C. lansdorffii</i> , <i>Thalictrum minus</i> var. <i>hypoleucum</i>

Fig. 3. Vegetation types and altitude in each plot along the line a and the line b.

した。

これら7つの各植生タイプにおける種多様度の比較を行うために、シャノン指数の平均値をそれぞれ算出し Table 2 に示した。湿原区域に分布する植生タイプである alder, fen タイプでは概ね多様度が高く、特に alder タイプは最も高い多様度を示した (Table 2)。逆に、旧農地区域で優占する meadow タイプの多様度は低かった。また、コドラート当たりの平均出現種数についてもシャノン指数と類似した傾向を示し、alder, fen タイプよりも meadow タイプで出現種数が少なかった (Table 2)。

各植生タイプの水文化学環境

分散分析によって植生タイプ間における各環境変量を比較した結果、土壌水の PO_4^{3-} 濃度以外の全ての変量で有意な F 値が算出された (Table 3)。最も大きな F 値を示した平均地表面水位 (WL mean) は、meadow タイプ (Wet meadow, Hay meadow) で非常に低い値を示し、湿原区域に分布する主要な4つの植生タイプ (Dwarf alder forest, Alder forest, Shrub fen, Sedge fen) ではいずれも地表面付近の値となった。地表面水位変動 (WL sd) に関しても meadow タイプでの大きな水位変動が目立った。土壌水の pH に関しては、ミズゴケを有する Dwarf alder forest で相対的に低めの値が認められたが、全体的に pH 6 を示した。土壌水の Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} 濃度および EC は同様な傾向を示し、概ね湿原区域に分布する alder・fen タイプで高く、なかでも Shrub fen で最も高い値が認められた。逆に、 Ca^{2+} , SO_4^{2-} , NO_3^- 濃度は旧農地区域に分布する Hay meadow で高い値を示した。TDN 濃度は Hay meadow で最も低く、TDP と K^+ 濃度は Graminoid fen で最も高い値となった。また、 NH_4^+ 濃度には植生タイプ間での有意差は認められなかった。

CCA による植生と環境変量の対応関係

全調査定点のデータを用いて行われた CCA は、第一軸

で寄与率 15.4%，第二軸で寄与率 6.8% を示し、それらの二軸合計で全分散の 22.2% を説明した (Table 4)。モンテカルロテストによる p 値は両軸共に有意な値をとり、帰無仮説が棄却されたことから、各軸で表現される植生と環境要因との関係は有意であることが示された。第一軸上では、Dwarf alder forest や Alder forest, Shrub fen, Sedge fen などの湿原植生タイプが正側に集中して配置され、負側では Graminoid fen から Wet meadow, Hay meadow への移行が認められた (Fig. 4 a)。これら第一軸上の配列パターンは、Fig. 3 に示された旧農地区域から湿原区域へ至る現地での植生の移行とおおよそ一致した。この植生配列パターンに対し、平均地表面水位や土壌水の Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} 濃度が大きな正のベクトルで対応すると共に地表面水位変動が大きな負のベクトルで対応したことから、両者の強い相関関係が示された。第二軸上では、湿原植生と草原植生の中間的な植生タイプである Wet meadow や Graminoid fen が負のサイトスコアをとることで他の群落から分離し、TDP が負のベクトルでその配列パターンと対応したが、第一軸上でみられたような強い関係は認められなかった。以上のことから、湿原区域から旧農地区域へ向かう植生タイプの移行と、それに連動する地表面水位の低下、 Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} 濃度の低下、地表面水位変動の増大が、全調査定点を対象とした植生と環境の対応関係における最も主要な特徴であることが明らかにされた。

旧農地区域内でのデータの分散が非常に大きいため、全定点データを用いた CCA の表現スケールは非常に大きく、湿原区域内の詳細な生態系傾度を適切に評価することができなかった (Fig. 4 a)。そこで、湿原区域における調査定点データに限定した CCA を行うことで、湿原区域での植生と環境間の詳細な関係を検討した (Fig. 4 b, Table 4)。第一軸は寄与率 11.1%，第二軸は寄与率 7.1%

Table 2. Mean and S.D. of Shannon's diversity index (H') and number of species per quadrat in each vegetation type. The same letter do not differ significantly according to Scheffe's multiple-comparison test ($p < 0.05$)

Vegetation type	H'	Number of species
Dwarf alder forest	2.05 ± 0.18^a	20.3 ± 3.3^a
Alder forest	2.00 ± 0.24^{ab}	17.9 ± 3.5^{ab}
Shrub fen	1.81 ± 0.17^{abc}	19.3 ± 2.6^{ab}
Sedge fen	1.80 ± 0.23^{abc}	20.5 ± 4.1^a
Graminoid fen	1.74 ± 0.27^{bc}	14.6 ± 4.2^{bc}
Wet meadow	1.60 ± 0.33^{abc}	9.4 ± 3.6^c
Hay meadow	1.59 ± 0.39^c	10.6 ± 3.6^c

Table 3. Hydrochemical environments (mean $\pm$ S. D.) in the seven vegetation types. F-values are obtained by ANOVA in each variable ($p < 0.05$) for all the variables except for PO_4^{3-} . Means in the same row followed by the same letter do not differ significantly according to Scheffé's multiple-comparison test ($p < 0.05$).

	Dwarf alder forest	Alder forest	Shrub fen	Sedge fen	Graminoid fen	Wet meadow	Hay meadow	F-value
WL mean (cm)	-2.1 ± 1.0^a	-1.2 ± 0.5^a	0.7 ± 0.4^a	3.7 ± 0.5^a	-4.9 ± 1.3^a	-19.2 ± 2.5^a	-96.5 ± 8.7^b	89.1
WL sd (cm)	1.8 ± 0.1^d	1.8 ± 0.1^d	1.2 ± 0.2^d	1.9 ± 0.2^d	9.6 ± 1.4^c	24.0 ± 1.3^a	15.7 ± 1.6^b	56.6
pH	6.1 ± 0.0^b	6.3 ± 0.1^{ab}	6.2 ± 0.1^{ab}	6.2 ± 0.1^{ab}	6.3 ± 0.1^{ab}	6.3 ± 0.2^{ab}	6.5 ± 0.1^a	3.4
EC (mS/m)	17.8 ± 1.0^{abc}	20.9 ± 2.3^{ab}	27.1 ± 6.4^a	21.8 ± 1.4^{ab}	12.9 ± 1.1^{bc}	9.8 ± 1.5^{abc}	7.8 ± 0.7^c	7.7
Cl^- (mg/L)	47.5 ± 3.0^b	51.5 ± 3.3^{ab}	72.2 ± 12.8^a	57.3 ± 4.0^{ab}	17.3 ± 3.3^c	5.3 ± 1.1^d	4.1 ± 0.7^d	30.1
Na^+ (mg/L)	28.5 ± 1.6^b	34.2 ± 2.5^{ab}	40.9 ± 3.2^a	36.3 ± 1.9^{ab}	14.2 ± 1.7^c	7.7 ± 1.9^{cd}	3.7 ± 0.3^d	44.2
Mg^{2+} (mg/L)	2.5 ± 0.2^{bc}	3.2 ± 0.3^b	4.5 ± 0.3^a	3.4 ± 0.2^{ab}	2.1 ± 0.2^c	1.3 ± 0.2^{cd}	0.5 ± 0.0^d	32.1
Ca^{2+} (mg/L)	3.0 ± 0.2^c	3.7 ± 0.2^c	5.2 ± 0.4^{bc}	3.2 ± 0.3^{bc}	8.6 ± 1.8^{ab}	7.2 ± 0.8^{abc}	11.2 ± 1.7^a	9.6
SO_4^{2-} (mg/L)	0.6 ± 0.0^b	0.6 ± 0.1^b	0.8 ± 0.3^b	0.7 ± 0.1^b	0.9 ± 0.1^b	1.6 ± 0.3^b	6.0 ± 1.0^a	21.8
NO_3^- (mg/L)	0.03 ± 0.01^b	0.11 ± 0.06^b	0.04 ± 0.01^b	0.05 ± 0.02^b	0.03 ± 0.01^b	0.03 ± 0.02^{ab}	0.66 ± 0.19^a	7.0
NH_4^+ (mg/L)	0.16 ± 0.02^a	0.18 ± 0.04^a	0.03 ± 0.02^a	0.08 ± 0.03^a	0.18 ± 0.05^a	0.22 ± 0.05^a	0.17 ± 0.04^a	2.3
TDN (mg/L)	1.66 ± 0.08^{ab}	1.52 ± 0.05^a	1.41 ± 0.10^{abc}	1.19 ± 0.06^{bc}	1.70 ± 0.07^a	1.88 ± 0.14^a	1.13 ± 0.09^c	10.1
PO_4^{3-} (mg/L)	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	2.1
TDP (mg/L)	0.02 ± 0.00^b	0.03 ± 0.00^b	0.04 ± 0.01^b	0.03 ± 0.00^b	0.07 ± 0.01^a	0.04 ± 0.01^{ab}	0.01 ± 0.00^b	11.9
K^+ (mg/L)	0.9 ± 0.1^{ab}	1.0 ± 0.1^{ab}	0.9 ± 0.2^{ab}	0.8 ± 0.1^{ab}	1.2 ± 0.1^a	1.0 ± 0.2^{ab}	0.6 ± 0.1^b	3.8
Number of site	22	27	12	15	19	5	21	

WL mean; mean water level, WL sd; S. D. of water level, EC; electrical conductivity, TDN; total dissolved nitrogen, TDP; total dissolved phosphorus

を示し、それらの二軸合計で全分散の 18.2% を説明した。また、モンテカルロテストによる p 値は両軸共に有意な値をとり、植生と環境要因との間には有意な相互関係が認められた。第一軸上では、正側で優占する Dwarf alder forest・Alder forest から、負側で優占する Shrub fen・Sedge fen・Graminoid fen への植生移行が示された。この植生配列パターンに対し、TDP 濃度や平均地表面水位（負の相関関係）及び TDN（正の相関関係）が比較的強く関連した。第二軸に対しては、植生タイプの特徴的な移行は認められなかった。これらのことから、alder タイプから fen タイプへの植生移行と、それに伴う地下水位の上昇・TDP 濃度の上昇・TDN 濃度の低下が、湿原区域における最も主要な特徴として抽出された。

湿原区域における詳細水位環境

湿原区域の主要な植生タイプ (Dwarf alder forest,

Alder forest, Shrub fen, Sedge fen) で連続測定された自記水位計データを、地表面水位の連続的な積算滞在時間に変換することで、各植生タイプの水位環境について詳細な比較を行った (Fig. 5)。Alder forest では、全観測期間約 100 日間のうち、地表面水位 0 cm 以上を示す冠水状態となった期間が約 25 日程度となった。次に、Dwarf alder forest では約 55 日間が冠水期間であった。Fen タイプの冠水期間はさらに長く、Shrub fen では約 70 日間、Sedge fen では約 85 日間を示し、alder タイプよりも長い冠水期間となった。また、地表面水位が 5 cm 以上の比較的深い冠水状態となる期間については、fen タイプで約 10~40 日程度存在するのに対し alder タイプではほとんど認められず、最高水位については alder タイプが fen タイプよりも約 10 cm 以上低かった。これら高水位時の挙動の違いは、alder タイプと fen タイプのグラフパターンにおける

Table 4. Summaries of the CCA by the sites in the all area and in the mire area.

	All area		Mire area	
	Axis 1	Axis 2	Axis 1	Axis 2
Eigenvalues	0.74	0.33	0.22	0.14
Percentage of species variance	15.4	6.8	11.1	7.1
P-values by Monte Carlo test	0.01	0.01	0.01	0.04
Number of the sites	121		81	

Fig. 4. CCA ordinations of the vegetation types in sites from the all area (a) and from the mire area (b) with environmental variables represented by arrows along the site score and the biplot score.

最も大きな開きとなって現れ(グラフ右側部分), 両者の水位特性をうまく特徴づけた。

考 察

全調査定点を対象とした CCA の結果は, 湿原区域から旧農地区域へ向かう植生と環境の変化が, 広里地区全域における最も主要な特徴であることを示した。さらに, 湿原区域に限定した CCA の結果は, ハンノキ林 (alder タイプ) から草本湿原 (fen タイプ) への植生と環境の変化が湿原内部の主要な特徴であることを表した。すなわち, 釧路湿原全体における生態系の劣化要素としてしばしば取り上げられる「農地開発跡地」と「増加したハンノキ」の二つが, 広里地区の重要な特徴として抽出されたかたちとなった。

農地開発跡地の評価

湿原区域から旧農地区域への植生変化は, alder・fen タイプからの移行によって表現される。種多様度及び出現種数は, alder・fen タイプから meadow タイプへと低下し (Table 2), TWINSpan では alder・fen タイプ (Group 1～5) と meadow タイプ (Group 6～7) 間における植生の類似度が最も大きな隔たりとなって表された (Fig. 2)。このように, 湿原区域と旧農地区域間の植生的な相違は統計的にも大きく, さらに, 両区域の主要構成種は湿原種群から乾性草原種群へと大きく変化することから (Table 1), 湿原植生の範疇を外れるほどの大きな質の違いが存在していることがわかる。しかし, 農地開

発以前に撮影された航空写真では, 両区域間における著しい景観の違いは認められなかったことに加え (未発表データ), 乾性草原種群が分布する地域でも泥炭土壌が認められることから (山田・中村 2003), 旧農地区域ではかつて湿原植生が広く分布したのではないかと考えられている (中村・中村 2003)。従って, 現在の旧農地区域における植生の異質性は, 湿原植生から乾性草原植生への大きな経年的変化が起こったことを示唆しており, 湿原としての深刻な植生の劣化を表しているものとして捉えることができる。

CCA (Fig. 4 a) において, 旧農地区域への植生移行と非常に強く対応した平均地表面水位・水位変動は, 広里地区内における旧農地区域の環境的な異質性を最も特徴づけている。Alder・fen タイプでは概ね地表面近くの平均地表面水位を示し水位変動もかなり小さいことから, 一般的な湿原の水文環境特性 (Wheeler & Shaw 1995) が表現されているが, 旧農地区域に広く分布する meadow タイプでは水位変動が比較的大きく平均地表面水位については著しく低い (Table 3)。湿原植物の存続には, 十分な水供給を常に受けられることが最低限の条件となるため (Wheeler & Shaw 1995), Hay meadow のような -100 cm にまで至る低い地表面水位は, 湿原植物の分布を著しく困難にしていると考えられる。このような地下水位環境は, 同区域北端から東端に位置する旧雪裡川への排水や, 旧農地区域と湿原内部との境界を流れる明渠への排水により形成されている (山田・中村 2003)。特に旧雪裡川への排水効果は大きく, 築堤により上流 (雪裡川) と分断されたことで河川水位が大きく低下し, 旧農地区域全体から旧雪裡川へ向かって地下水・表流水が流れ込むことで, 同区域の地下水位環境における大きな経年的変化, すなわち乾燥化が引き起こされたと考えられる (山田・中村 2003)。

また, CCA でこれらの水文環境変量と共に強く反応した変量である土壌水の Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} 濃度は, 湿原区域よりも旧農地区域で明らかに低い値をとった (Table 3)。しかし, 旧農地区域におけるそれらの値は, 北海道の低地湿原における平均的な濃度レンジとほぼ一致しており (Hotes et al. 2001; Nakamura et al. 2002b), むしろ, 湿原区域の値が湿原の表層土壌水としては非常に高い。従って, 塩類濃度の違いが旧農地区域での湿原植物の分布を直接阻害している可能性は低いと考えられる。

以上のことから, 旧農地区域における植生の大きな変異は, 著しい地下水位の低下によってもたらされたものであると結論できるとともに, 同区域では湿原生態系の

Fig. 5. Continuous pattern of cumulative residence time of the water level at the major communities in the mire area.

深刻な植生的・環境的劣化が生じていると評価できる。

ハンノキ林の評価

湿原区域におけるハンノキ林 (alder タイプ) と草本湿原 (fen タイプ) との景観的な違いはハンノキの有無によって大きく特徴づけられる。しかし、いずれも湿原種群から構成される植生タイプであり、種多様度が alder タイプでわずかに高くなる傾向があるものの (Table 2)、両植生タイプの出現種数に大差はなく主要出現種についてはヨシヤムジナスゲ、イワノガリヤスなど多くの共通部分がある (Table 1)。従って、現状を見る限りでは、fen タイプと同様に alder タイプも湿原植生として健全な種組成であるといえる。

しかし、経年的な植生変化に着目すると、これらのハンノキ林は、釧路川直線化工事に伴う雪裡川・12号支線川の分断や旧農地区域での農地造成がなされた後、急激に分布域を拡大した植生タイプであることが航空写真の判読から明らかになっており (松原ほか 2003)、現在も増加拡大傾向にある可能性がある。この樹林化は、土砂流入のない自然状態の泥炭湿原における湿生遷移として、数百年単位で自発的に進行する樹林化よりも著しく早い。ため、周辺で行われた人為的攪乱と何らかの関連性を持つ現象であると考えられる。また、湿原区域に広く分布するムジナスゲ、イワノガリヤス等の草本性湿原種群の多くは、一般に被陰の少ない環境に分布するため (宮脇 1988)、さらなるハンノキの増加が強い被陰環境をもたらした場合、現存する草本性湿原種群の消失と耐陰性種群の増加をひき起こすことも考えられる。

生態系の保全・維持の視点に立てば、人為的攪乱の影響により本来の植生から変化することで生じた植生は、変化後の植生タイプにかかわらず劣化要素として捉える必要がある。従って、自然状態では起こりえないような急激な出現或いは増大によって成立した広里地区のハンノキ林は、少なくとも劣化した植生であると判断される。ただし、劣化の程度に関しては、現状の種組成が湿原として健全であることから、まだ小さいものであると評価できる。

Alder タイプの立地環境は、湿原区域に分布する他の主要群落 (Shrub fen, Sedge fen) よりも低い平均地表面水位・低 TDP 濃度・高 TDN 濃度となる傾向にあることが CCA 展開図によって特徴づけられた (Fig. 4b)。Alder タイプの土壌水で TDN 濃度が高くなる傾向は、ハンノキ根部の共生菌が空中窒素固定を行うため (中村 1980)、ハンノキ林内へより多くの窒素が蓄積・流通した結果であると思われる。また、より低い TDP 濃度を示す傾向につ

いては、ハンノキによる窒素富化が群落の生産量を増加させるため、群落におけるリンの要求量も同時に増加させることから、吸収されず土壌に残存・流通するリンが減少した結果ではないかと推察される。すなわち、TDN と TDP の挙動はハンノキの有無に大きく依存しているため、alder タイプから fen タイプへの移行と TDN 及び TDP 濃度変化との対応関係は、ハンノキ分布による結果を示すものであり、ハンノキ林増加の原因を示唆したものではないと考えられる。

一方、alder タイプで平均地表面水位が低くなる傾向は、Shrub fen や Sedge fen に対する 5 cm 程度の水位差で表現されるにすぎなかった (Table 3)。しかし、一般に湿原植物の分布と平均水位の関係は、そのような小さな水位差でも変化することが多く、特に地表面付近における水位の違いは植物の分布・生育にとって強い影響力をもつといわれている (Yabe & Numata 1984; Nakamura et al. 2002 c)。さらに Fig. 5 では、時間軸を加えた 2 次元平面上で水位特性を展開することで、そのような地表面付近のわずかな平均水位の違いに内在する大きな質的特性の違いを抽出した。すなわち、fen タイプと比べて alder タイプでは最高水位が大幅に低く、なおかつ高水位状態にある期間が非常に短いことを特徴づけた。これらのことから、湿原区域における alder タイプと fen タイプの分布は、水文特性の違いに大きく影響されていると考えられ、特に、増水期間・程度が小さく還元性ストレスを受けにくい立地環境の存在は、ハンノキ林の存続を可能にしている大きな要因であると思われる。

最高水位が低く増水期間の短い水文特性がハンノキ林部分で維持される背景には、湿原区域の地形的特徴が関与している。Alder タイプが位置する a ライン上の立地は、やや隆起した地形であることに加え、fen タイプの優占する b ラインよりも標高が高いため (Fig. 3)、極端な増水や長期間の冠水状態は形成されにくいと考えられる。ハンノキ林増加の原因は何らかの環境変化にあると推測され、ハンノキ林で現在みられる水文環境は、地盤沈下等の経年的な地形変化を通じて形成された可能性も考えられる。しかし、現段階で判断できるデータは得られていない。従って、ハンノキ林増加の原因となる環境変量について特定することはできないが、最高水位が低く増水期間の短い水文環境は、現在のハンノキ林の分布と拡大に強く影響を及ぼしている要因の一つであると結論できる。

おわりに

旧農地区域部分は、分断された旧雪裡川の水位低下に伴う乾燥化の影響や、農地改変時に投入された肥料・石灰等の土壌改良資材による地下水水質への影響が今も残存し、直接的な人為攪乱を強く受けている地域であることが明らかにされている（山田・中村 2003）。本研究では、それら人為的影響の中でも、とくに地下水位の低下が旧農地区域での極めて大きな植生の劣化をもたらしていることが明らかとなった。このことは、地下水位の低下が湿原自体の消失をも招く最も深刻な攪乱であることを改めて示唆するものである。全国各地の湿原に隣接する農地開発跡地の多くはおそらく同様な状況にあると予想され、そのような立地を含む湿原の再生において、地下水位低下の問題は、早急に解決しなければならない最優先課題として位置づける必要があると思われる。

湿原区域では、現状のハンノキ林分布に水文特性が強く関与していることが明らかとなったが、ハンノキの急増以外に植生的な劣化要素は認められず、ハンノキ林の増加をもたらした決定的な環境変化や具体的な人為的攪乱との関連性を特定することはできなかった。釧路湿原各地で進行するハンノキ林の増加は、植生変化の規模からすれば今後保全上の大きな問題となりうるため、様々なスケールによるメカニズムの解明が早い段階でなされるべきである。

湿原に対する人為的攪乱は、農地造成や排水路の設置だけでなく、舗装道路による分断や周辺土地利用による土壌・水質汚染、酸性雨の影響など多岐にわたる（Verhoeven et al. 1996; 矢部ほか 1999; Yabe & Nakamura 2002; Nakamura et al. 2002c）。従って、その植生や環境にみられる劣化の程度・質も多様であり、それぞれの湿原は固有の問題を抱えているといえる。そのような中で、人為的攪乱がどのような環境変化を引き起こし、それらの環境変化の中で何が植生に対し決定的な悪影響を及ぼしているのか、さらに、そのメカニズムを事例的に明らかにしてゆくことは、生態系の保全・再生にとって非常に重要なプロセスとなる。本研究では、定量的データと科学的解析による客観的な判断から植生と環境の劣化程度を評価し、植生と環境の対応関係を人為的攪乱との関連性において考察した。このようなアプローチから得られる知見の積み重ねが、多様な問題に対し柔軟に適用可能な体系的保全・再生技術の確立に今後大きく役立つものと思われる。

謝 辞

本研究をすすめるにあたり、国際ウエットランドセンタの新庄久志氏、(株)野生生物総合研究所の志田祐一郎氏、国際ソル財団の百瀬ゆりあ氏には調査に際し多大なご支援をいただいた。ここに記して謝意を表する。

摘 要

釧路湿原再生事業対象地である広里地区での植生と環境要因の対応関係を整理することにより、地区内に存在する放棄農地や増加したハンノキ林に対する劣化の評価及びその劣化原因を検討した。

主要な植生は7タイプに分類され、放棄農地部分では牧草種等からなる乾性草原植生タイプが優占し、地区内部ではハンノキやムジナスゲなどからなる湿原植生タイプが優占した。

植生データと環境データによるCCA（正準対応分析）では、次の2つの傾向が主な特徴として抽出された：1）地区内部に分布する湿原植生タイプから放棄農地に分布する乾性草原植生タイプへの移行と対応した地下水位の低下、2）ハンノキ優占タイプから他の湿原植生タイプへの移行と対応した地下水位の上昇・土壌水窒素濃度の低下・土壌水リン濃度の上昇。

放棄農地における乾性草原植生は、隣接する雪裡川の分断に伴う著しい地下水位の低下により、かつての湿原植生から変化して生じたものであると考えられ、湿原生態系の深刻な劣化が生じていると評価された。

ハンノキ林では、周辺の湿原群落との植生的な相違が比較的小さく、劣化の程度はまだ小さいものであると評価された。また、ハンノキ林の分布には高水位時の水文特性が強く影響していることが明らかとなったが、ハンノキ林の増加をもたらした決定的な環境変化や具体的な人為的攪乱との関連性を特定することはできなかった。

引用文献

- Beltman B., Van Den Broek T., Bloemen S. & Witsel C. (1996) Effects of restoration measures on nutrient availability in a formerly nutrient-poor floating fen after acidification and eutrophication. *Biological Conservation* **78**: 271-277.
- Budelsky R. A. & Galatowitsch S. M. (2000) Effects of water regime and competition on the establishment of a native sedge in restored wetlands. *Journal of Applied Ecology* **37**: 971-985.
- D. Mars H. Wassen M. J. & Peeters W. H. M. (1996) The effect of drainage and management on peat chemistry and nutrient deficiency in the former Jęgrznia-floodplain (N. Poland). *Vegetatio*

- tatio **126**: 59-72.
- Ehrenfeld J. G. & Schneider J. P. (1991) *Chamaecyparis thyoides* wetlands and suburbanization: effects on hydrology, water quality and plant community composition. *Journal of Applied Ecology* **28**: 466-490.
- 富士田祐子 (1997) 北海道の湿原の現状と問題点. 「北海道の湿原の変遷と現状の解析」日本自然保護基金 1994・1995 年度研究助成報告書, pp. 231-238. 財団法人日本自然保護基金, 東京.
- Gunnarsson U., Rydin H. & Sjörs H. (2000) Diversity and pH changes after 50 years on the boreal mire Skattlösbergs Stormosse, Central Sweden. *Journal of Vegetation Science* **11**: 277-286.
- Hotes S., Poschold P., Sakai H. & Inoue T. (2001) Vegetation, hydrology, and development of a coastal mire in Hokkaido, Japan, affected by flooding and tephra deposition. *Canadian Journal of Botany* **79**: 341-361.
- 松原健二・山田浩之・中村隆俊・宮作尚弘・神谷雄一郎・渡辺綱雄・中村太士 (2003) 航空機レーザー測量を用いた釧路湿原ハンノキ林の樹高推定と分布域の環境条件. 第 114 回日本林学会大会学術講演集: 160.
- McCune B. & Mefford M. J. (1999) PC-OR. Version 4 User's Manual, Multivariate Analysis of Ecological Data. MjM Software Design, Oregon.
- 宮脇昭 (1988) 日本植生誌北海道 (第 9 巻). 至文堂出版社, 東京.
- MjM Software Design (1999) PC-ORD for Windows Ver. 4.17. MjM Software Design, Oregon.
- 中村道徳 (1980) 生物窒素固定. 学会出版センター, 東京.
- Nakamura F., Jitsu M., Kameyama S. & Mizugaki S. (2002a) Changes in riparian forests in the Kushiro Mire, Japan, associated with stream channelization. *River Research and Applications* **18**: 65-79.
- 中村太士・中村隆俊・渡辺修・山田浩之・仲川泰則・金子正美・吉村暢彦・渡辺綱男 (2003) 釧路湿原の現状と自然再生事業の概要. 保全生態学研究 **8**: 129-144.
- Nakamura F., Kameyama S. & Mizugaki S. (2004) Rapid shrinkage of Kushiro Mire, the largest mire in Japan, due to increased sedimentation associated with land-use development in the catchment. *Catena* **55**: 213-229.
- Nakamura T., Uemura S. & Yabe K. (2002b) Hydrochemical regime of fen and bog in north Japanese mires as an influence on habitat and above-ground biomass of *Carex* species. *Journal of Ecology* **90**: 1017-1023.
- Nakamura T., Yabe K., Komatsu T. & Uemura S. (2002c) Reduced soil contributes to the anomalous occupation of dwarf community in N-richer habitats in a cool-temperate mire. *Ecological Research* **17**: 109-117.
- 中村隆俊・中村太士 (2003) 釧路広里地区における植生分布と無機環境要因. 環境省自然環境局北海道地区自然保護事務所平成 14 年度自然再生事業広里地区自然環境調査 (その 1) 業務報告書.
- National Research Council. (1992) Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology, and Public Policy. National Academy Press, Washington DC.
- SA. Institute Inc. (1998) StatView for Macintosh Ver. 5.0. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Shannon C. E. & Weaver W. (1949) The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Illinois.
- 新庄久志 (2002) 釧路湿原のハンノキ林. 「北海道の湿原」(辻井達一・橘ヒサ子編), pp. 17-33. 北海道大学図書刊行会, 札幌.
- 橘ヒサ子 (2002) 北海道の湿原植生とその保全. 「北海道の湿原」(辻井達一・橘ヒサ子編), pp. 285-301. 北海道大学図書刊行会, 札幌.
- Verhoeven J. T. A. (1992) Fens and Bogs in the Netherlands: Vegetation, History, Nutrient Dynamics and Conservation. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Verhoeven J. T. A., Keuter A., Van Logtestijn R., Van Kerkhoven M. B. & Wassen M. J. (1996) Control of local nutrient dynamics in mires by regional and climatic factors: a comparison of Dutch and Polish sites. *Journal of Ecology* **84**: 647-656.
- Vermeer J. G. & Joosten J. H. J. (1992) Conservation and management of bog and fen reserves in the Netherlands. In: Fens and Bogs in the Netherlands: Vegetation, History, Nutrient Dynamics and Conservation (ed. J. T. A. Verhoeven), pp. 433-478. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- Wheeler B. D. & Shaw S. C. (1995) A focus on fens-controls on the composition of fen vegetation in relation to restoration. In: Restoration of Temperate Wetlands (eds. Wheeler B. D., Shaw S. C., Fojt W. J. & Robertson R. A.), pp. 49-72. John Wiley & Sons Ltd. Ontario.
- Yabe K. & Numata M. (1984) Ecological studies of the Mobara-Yatsumi marsh: Main physical and chemical factors controlling the marsh ecosystem. *Japanese Journal of Ecology* **34**: 173-186.
- 矢部和夫・中村隆俊・河内邦夫・高橋興世 (1999) 排水路と国道がミズゴケ湿原生態系に与えた影響. ランドスケープ研究 **62**: 557-560.
- Yabe K. & Nakamura T. (2002) Base mineral inflow in a remnant cool-temperate mire ecosystem. *Ecological Research* **17**: 601-614.
- 山田浩之・中村太士 (2003) 釧路湿原広里地区における地下水位および地下水水質の把握と地下水環境再生手法のモデル的検討. 環境省自然環境局北海道地区自然保護事務所平成 14 年度自然再生事業広里地区自然環境調査 (その 1) 業務報告書.