

## 利尻島種富湿原における炭素蓄積量の推定

高田雅之<sup>1)</sup>・小杉和樹<sup>2)</sup>・佐藤雅彦<sup>3)</sup>・加藤友隆<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> 〒060-0819 札幌市北区北19条西12丁目 北海道環境科学研究センター

<sup>2)</sup> 〒097-0401 利尻町杵形字富士見町 利尻島自然情報センター

<sup>3)</sup> 〒097-0311 利尻町仙法志字本町 利尻町立博物館

<sup>4)</sup> 〒006-8585 札幌市手稲区前田7条15丁目 北海道工業大学

### Estimation of Carbon Stock at Tanetomi Mire, Rishiri Island, Hokkaido

Masayuki TAKADA<sup>1)</sup>, Kazuki KOSUGI<sup>2)</sup>, Masahiko SATO<sup>3)</sup> and Tomotaka KATO<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Hokkaido Institute for Environmental Sciences, West 12 North 19, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido, 060-0819 Japan

<sup>2)</sup>Informative Center for Natural Environment of Rishiri, Fujimi-cho, Kutsugata, Rishiri Is., Hokkaido, 097-0401 Japan

<sup>3)</sup>Rishiri Town Museum, Senhoshi, Rishiri Is., Hokkaido, 097-0311 Japan

<sup>4)</sup>Hokkaido Institute of Technology, 7-15 Maeda, Teine-ku, Sapporo, Hokkaido, 006-8585 Japan

**Abstract.** The shape of basis landform underneath the mire was estimated from the peat depth data by using GIS (Geographical Information System) technology at Tanetomi Mire on Rishiri Island, Hokkaido. And the carbon content of the peat was also measured. From these data, the accumulative carbon amount of the mire was estimated. The results show that peat volume was 20,550m<sup>3</sup> and average peat depth was 1.1m. From those result, the amount of all carbons in the peat was calculated as 913.9t (506.2t/ha). There was the tendency that the depth of peat become deeper, the less amount of carbon became. It was shown that the carbon stock function of the peatlands can be quantitatively evaluated by the use of GIS technology.

#### はじめに

北海道の湿原がもつ特徴のひとつに、泥炭地であるということがあげられる。泥炭とは、過湿や低温などの条件で水位が高く保たれ、還元環境のもとで分解不完全な植物遺体が堆積して形成された有機質土壌をいう(北海道泥炭地研究会, 1988; 阪口, 1974)。世界には4.3億haの泥炭地が分布しているとされ(Andriessse, 1988; 岩田・喜田, 1997)、熱帯域を含めて広く分布する。しかしその大部分は北半球高緯度地方の冷涼気候帯に分布し、北海道はほぼその南限に位置している。

泥炭が未分解の植物遺体で構成されているということは、植物の成長過程で吸収固定された炭素(二

酸化炭素)が分解によって大気中に再放出されることなく、有機物として蓄積されていることを意味する。このことは、地球環境問題のひとつである地球温暖化問題において、近年特に注目されてきている。グローバルな炭素循環においては、大気中の二酸化炭素濃度に直接関連するものとして、陸域生態系(植生及び表層土壌)における炭素の貯蔵と動態が重要視されており、土壌中には植生の約4倍、大気中の約3倍の炭素が存在していると見なされている(IPCC, 2000; 木村・波多野, 2005)。陸域生態系のうち湿地(泥炭地)については、単位面積あたりの炭素蓄積量が他の植生や土壌タイプに比べて極めて大きく、また絶対蓄積量も陸域生態系全体の

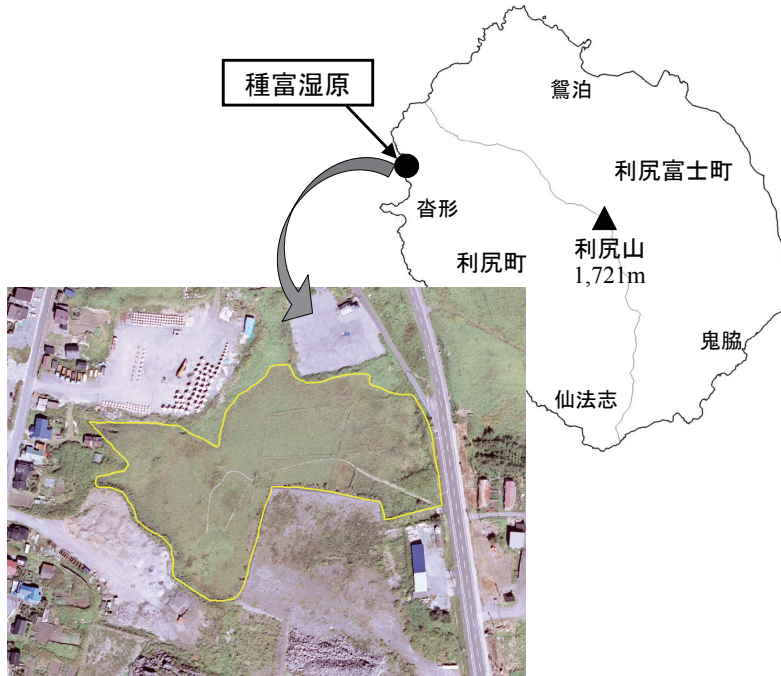


図1. 種富湿原の位置と立地環境。

約1割を占めるなど、泥炭地が有する地球規模の炭素蓄積効果の重要性が明らかとなっている (IPCC, 2000; 真田・高橋, 1995)。

しかし農耕地をはじめとする人為的な土地変化が進むことによって、表層土壌における有機物の酸化分解が促進され、炭素蓄積量が減少してきていることが指摘されており (木村・波多野, 2005)、泥炭地においてもそれは例外ではない。北海道においても、大正時代以降現在に至るまで約60%の湿原が消失したとされ (山川ほか 1999)、応分の炭素が表層土壌から消失したと考えられる。しかしながら、土壌に蓄積されている炭素量の推定は、これまでは概ね表層1mを対象としており、数m～十数mにわたって堆積している泥炭内に総量としてどれくらいの炭素が蓄えられているかについては、必ずしも十分な調査や評価がされているとは言い難い。

そこで北海道の湿原の炭素蓄積効果を定量的に評価する試みの一環として、利尻島の種富湿原を対象として現地調査を行い、空間解析技術のひとつであるGIS (地理情報システム) 技術を用いて湿原全体の炭素蓄積量を推定した。日本における炭素蓄積量

の推定としては、日本政策投資銀行地域政策研究センター (2004) の研究例が見られる。そこでは既存の原単位と統計情報を用いて土地被覆条件に応じた地域別の炭素蓄積量が推定されている。本研究では特に湿原に注目し、その三次元構造を考慮して深さごとの炭素蓄積量から全体を推定するというフィールド科学とデジタル空間技術を組み合わせたアプローチを取った。それによって精度の高い推定技術の提起を試みるとともに、今後北海道全体へと広域的に応用し、炭素ストックの観点から湿原の果たす役割を定量的に評価することに寄与していくことを期待するものである。

#### 調査地の概要

本研究は利尻島にある湿原のひとつ種富湿原 (利尻郡利尻町杓形字種富町) を対象として行った。本湿原は面積規模が比較的小さく、泥炭の深さが浅い (高田ほか, 2005) ことから、炭素蓄積量の推定手法を試行錯誤する上で、できるだけ精度を高める観点から選定した。なお、利尻島にはほかに主な湿原として南部に爆裂火口跡に発達した沼浦湿原と南

浜湿原が見られる。

種富湿原(図1)は海岸に近い種富地区の市街地に隣接して位置し、東側は道路、西側は住宅地、そして南北は造成地に接している。標高概ね5~10m、面積は約1.8ha(高田, 2006)、周囲からは1~2mほど低くなっており、地形は総じて平坦である。湿原内には溶岩の露出が、また周辺にはプレッシャーリッジが見られ、杓形溶岩流の凹地に成立したものと推定されている(小杉, 1997)。1980年代前半までは面積が約3.5haあったと考えられており、その後の埋め立てによって現在の面積にまで減少している(小杉, 1997)。泥炭の深さは概ね2m内外と浅く、主にヨシタイプ及びスゲタイプから成り、成立起源は約3000年前である(五十嵐, 2006;高田ほか, 2005)。植生は、イワノガリヤスクマイザサ群落が優占し、一部にムジナスゲ、ツルクケモモ、ミズゴケなどが見られるほか、岩場植物、海岸性植物など狭い面積内に多様な種が見られるのが特徴のひとつである(富士田, 2000;丹羽ほか, 2001)。また近年、外来植物のオオハンゴンソウの侵入が顕著であり、利尻島自然情報センターと利尻礼文サロベツ国立公園パークボランティアの会が中

心となって2001年より駆除の取り組みが進められており、効果をあげている(小杉, 2006)。

### 調査方法

種富湿原の全体を網羅するように21箇所の調査地点を任意に設定し、地表面からの泥炭の深さ(cm)を計測した(図2)。測定は径19mmの先の尖ったステンレス製の棒を垂直に突き刺し、泥炭の下にある基盤(粘土もしくは溶岩)に当たるまでの深さを泥炭深とした。各地点では、GPS(Garmin社:GPSMAP76S)による位置情報を取得するとともに、レベル測量器を用いて各調査地点の水準測量(相対標高差)計測を行った。また、併せて周囲約2m内の植物種と被度、主な植物の群落高を記録した。

これとは別に植生を考慮した湿原内の任意の3箇所(東部のヨシ植生域、南部のミズゴケ植生域及び中央部のササ植生域:図2)において、ピートサンプラーを使用して泥炭を採取した。採取は基盤層に当たるまで行い、20cmの深さ単位に容器にサンプリングし、炭素含有量を分析するための試料として実験室に持ち帰った。なお、泥炭の深さ計測調査は2005年10月16日に、炭素含有量分析のための泥

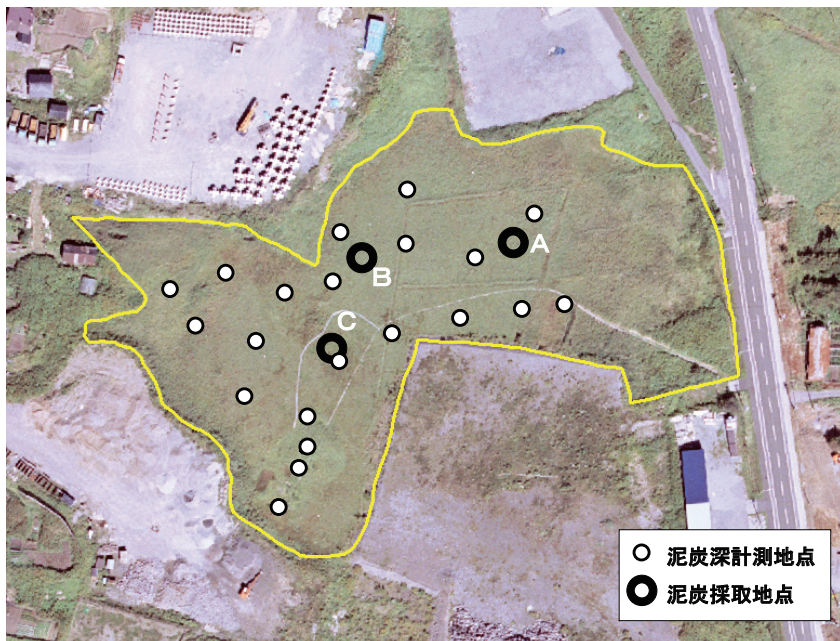


図2. 泥炭深計測地点及び泥炭採取地点。

炭採取は2006年10月1日に行った。

持ち帰った泥炭サンプルは、50°Cで48時間乾燥して水分を除いたのち、乳鉢と乳棒で細かくすり潰して、CHNコーダー分析器(YANACO CHN CORDER MT-5)により炭素含有率(質量含有率)を分析した。3地点の炭素含有率を深さ別に平均し、深さごとの平均炭素含有率を求めた。

次に別に入手した空中写真(2004年9月5日、北辰建設コンサルタント株式会社撮影)を幾何補正し、湿原区域を判読してGISポリゴンデータ化するとともに、現地調査で取得した泥炭の深さ計測位置情報をGISポイントデータ化した(図2)。これらのデータを元にして空間補完処理を行い、補完された泥炭深データを属性情報に有する1mグリッドデータを作成した。その際湿原の境界条件は、現地調査データを勘案して、埋め立て縁部は100cmまたは200cm、それ以外は0cmに設定した。

さらに、各1mグリッドの泥炭深データを湿原全域で積分し、種富湿原の全泥炭体積を算出するとともに、地表から20cm深間隔でスライスし、各深度層における泥炭の体積を算出した。そして先に求めた深さごとの平均炭素含有率と、既存文献等から得た泥炭の体積率及び比重から種富湿原全体における炭素蓄積量を試算した。なお解析処理ソフトには米ESRI社ArcGIS及び米Leica Geosystems社Imagineを使用した。

## 結果

21地点において泥炭深を計測した結果、最小が12cm、最大が299cm、平均が160cmとなった。泥炭深の浅いところは溶岩がところどころ地表面に露出する南側の区域で、中央部から北側にかけては泥炭深が2mを超えるところが多かった。各地点における植物種・被度・群落高から、ササが生育しているのは21地点のうち17地点で、平均群落高は約33cm、平均被度は約70%であった。またイワノガリヤスやヨシといった低層湿原植物は12地点で見られた。

図3に各地点における炭素含有率の深さ分布を、また表1に深さ別の平均炭素含有率を示した。各

地点ともに基盤に近い最深部の炭素含有率は低い数値を示した。それ以外の深さではいずれも炭素含有率は概ね50~55%であり、表層部は3地点とも50%をやや下回った。

図4に泥炭深の計測データから空間補完して作成した、泥炭深の空間分布図を示した。図では、薄い色は泥炭が浅く濃い色は深いことを示しており、中心部が深く周縁部が概ね浅い形状となっていることがうかがえる。次にGISによる空間補完結果の表現例として、断面図の作成及び三次元での立体表現を試みた。まず、湿原を任意の線で縦横に切り、その断面の泥炭深の変化を図示した。図5に切り取った3本の線の位置を、図6に各ラインの泥炭深の断面図を示した。これより急激に変化したり、起伏があつたりと変化に富んだ基盤地形の形状がうかがわれる。また、図7に湿原の基盤形状を三次元で表したものを例示した。このようにGIS技術を用いることにより、様々な地形表現が可能である。なお以上の泥炭深は、いずれも地表面からの相対標高として扱っている。

GISにより空間補完を行って作成した1mグリッドデータから求めた種富湿原の泥炭体積は約20,550m<sup>3</sup>、平均泥炭深は約1.1mという数値となった。このデータをもとに地表から20cm深間隔ごとの体積を算出し、これに表1に示した深さごとの平均炭素含有率を乗ずることにより、種富湿原に固定され貯留されている炭素量を推定した。計算式は以下のとおりである。

$$\text{全炭素量} = \sum (\text{各層の体積} \times \text{平均炭素含有率} \times \text{泥炭体積率} \times \text{泥炭比重})$$

ここで、泥炭体積率と泥炭比重については、種富湿原の泥炭を分析したデータが現時点ではないことから、筆者(高田、未発表)が石狩泥炭地で調査を行った際のデータから、泥炭の体積率を10~20% (100cmまでは10%、100~140cmは15%、140cm以深は20%)、泥炭の比重を0.9とした。

計算の結果、種富湿原の泥炭中に蓄積されている全炭素量は913.9t(面積当たり506.2t/ha)という結果を得た。図8に深さ別の炭素蓄積量を示した。

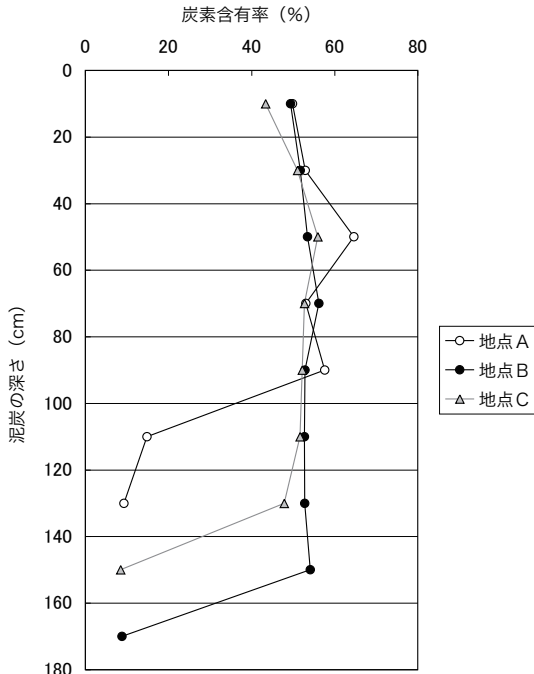


図3. 各地点における炭素含有率の深さ分布.

これより、深くなるに従って炭素蓄積量が減少していく傾向が明らかとなった。

### 考察

本研究は、現地計測データと GIS 技術を組み合わせ、まず湿原の三次元形状を推定して体積を求め、そして泥炭の炭素含有率から湿原の炭素蓄積効果を定量的に評価する手法を提起することを目的とした。湿原の三次元形状の推定結果からは、種富湿原は周囲を道路、造成地、建物などに囲まれているが、残された湿原域から元来は湖盆状の基盤地形を有している可能性が示唆された。このように GIS 技術を用いて湿原の立体形状を推定することにより、今後、湿原の成因や形成過程を考察する上で、補助的な情報を提供することができるものと考えられる。ここで縁部の泥炭深に関する境界条件は、今回は近傍データから便宜的に設定したが、今後実測データを用いることによりさらに推定精度を上げることは十分可能であると思われる。また今回は、表面地形を平坦と見なして地表面からの相対深度として湿原の立体形状を取り扱っているが、表面地形に

表1. 深さ別の平均炭素含有率

泥炭深	平均炭素含有率
0-20cm	47.6%
20-40cm	51.9%
40-60cm	58.0%
60-80cm	54.0%
80-100cm	54.2%
100-120cm	39.7%
120-140cm	36.7%
140-160cm	31.3%
160-180cm	8.8%

についても同様に空間補完データを作成することにより、今後表面地形と基盤地形の2つのレイヤーを有する形で湿原の立体形状を扱っていくことができると考えられる。

泥炭の炭素含有率についてはおおよそ50～55%となった。泥炭の炭素含有率が示された既存文献は必ずしも多くないが、北海道開発庁(1963)では33.7～36.5%、村山(1995)及び岩田・喜田(1997)ではマレーシアの泥炭であるが54.3～57.6%という値が示されている。高田ほか(2005)及び五十嵐(2006)によると、種富湿原は比較的分解が進んでいる一方、泥炭の圧密が見られ堆積速度も遅い。分解が進んでいることは炭素含有率を下げ的方向に、また圧密は反対に炭素含有率を上げる方向に寄与すると考えられ、一概に種富湿原における泥炭の炭素含有率が、他の湿原の泥炭と比べて大きい小さいかについては評価できない。今後、道内の他の湿原における分析データとの比較をぜひ行ってみたい。なお、基盤層に近い泥炭で炭素含有率が小さいのは、粘土等の無機成分が混入していることによるものと推察される(高田ほか, 2005)。

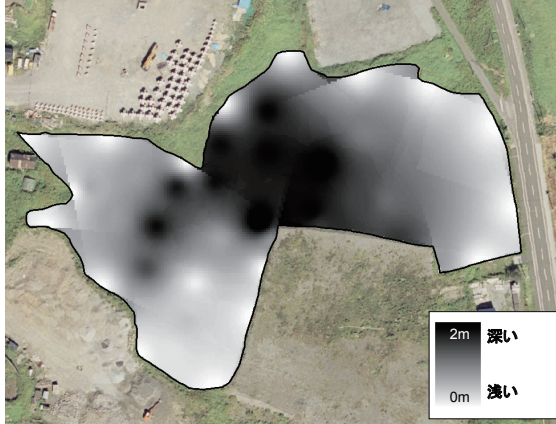


図4. GISによる空間補完結果.

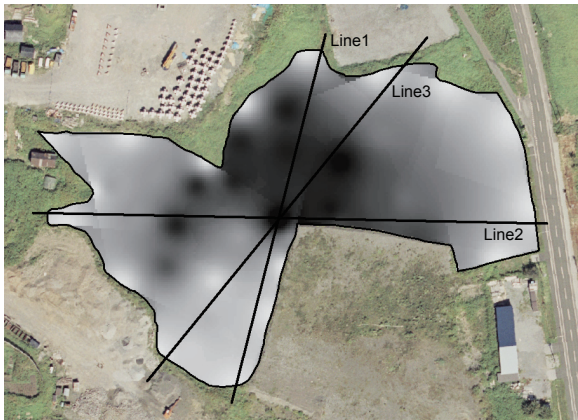


図5. 断面表示のために切り取ったラインの位置.

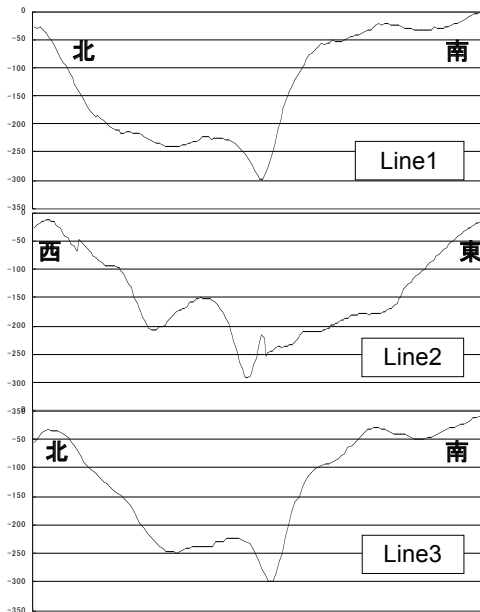


図6. 各ラインの泥炭深断面図.

泥炭内の炭素蓄積量の推定においては、今回は泥炭の体積率（固相率）及び泥炭比重は他湿原での既存資料をもとにして設定したが、今後は種富湿原における実測データを用いることで、より正確な炭素蓄積量の推定が可能になると考える。また、炭素含有率分析のためのサンプル地点数についても、今回は3地点としたが、これも地点を増やすことで精度を高めることができるといえる。ただし今回用いた空間技術は、汎用性を目指してできるだけ少ない労力で全体の推定精度を高める、すなわちコスト効果を上げることに寄与する技術のひとつであり、必ずしも現地調査地点を増やせばよいというものではないが、どの程度の現地調査を行うのが湿原における炭素蓄積量を推定する上で望ましいかについては、今後の研究課題であると考えている。

今回試算した種富湿原における面積当たりの炭素蓄積量 506.2t/ha について、泥炭地または湿原における既存の推定値として IPCC (2000) では 643t/ha (表より筆者が計算, 全球平均), 真田・高橋 (1995) では 792.57t/ha (表層 1m) という数値がある。また、ベラルーシ共和国内のデータとして 173 ~ 385 t/ha という数値もある (阪口, 1974)。一概にこれらとの比較はできないが、大きく異なった数値ではないということは言えそうである。大胆ではあるが種富湿原での推定値から全道の湿原における炭素蓄積量を試算すると、全道の湿原面積を約 65,000ha として (富士田ほか, 1997), 全道の湿原に約 3,300 万 t の炭素が蓄積されている計算となる。北海道における年間の二酸化炭素排出量を約 2,200 万 t (北海道, 2005: 炭素換算) とするとその 1.5 倍, また、日本における年間の二酸化炭素排出量を約 3 億 5 千万 t (環境省, 2006: 炭素換算) とするとそのおよそ 1 割弱となる計算である。これはあくまでひとつの大まかな試算であるが、湿原における炭素蓄積量の大きさを

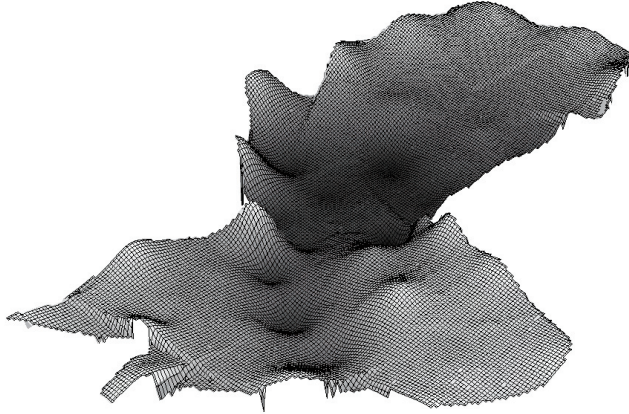


図7. 湿原の基盤形状の三次元表示例.

想像するのに十分な数値であると思われる.

泥炭地湿原は、未分解植物という形で蓄積される膨大な炭素の観点から、地球規模の炭素循環にとって少なからず重要である。しかしながら二酸化炭素が固定され蓄えられる一方で、還元環境によって発生するメタンガスもまた温室効果ガスのひとつである。両者の兼ね合いはそう単純ではないが、泥炭地湿原が保全されることで、現実にもそこに莫大な炭素がプールされていることは疑う余地のないことである。泥炭地は高緯度の寒冷地と熱帯地域に多く分布するが、寒冷地帯では植物の生産自体が少なく、一方熱帯地域では分解量が多い。阪口（1974）に

よると泥炭の生産量が最も大きいのは温帯であるという。北海道は冷温帯に属し、全国の9割近い湿原を有しており、森林とともに泥炭地湿原の炭素蓄積効果をもっと評価してもよいのではないだろうか。種富湿原は平地では珍しい溶岩の上に成立したある意味で特殊ともいえる湿原ではあるが、今回試みた手法は汎用性の高いものと考えられ、今後、全道の他の湿原における計測及び分析データ等を取得・活用することにより、北海道全体の泥炭地湿原における炭素蓄積量をより精度よく推計しその効果を適正に評価することに寄与することができるものと期待するものである。

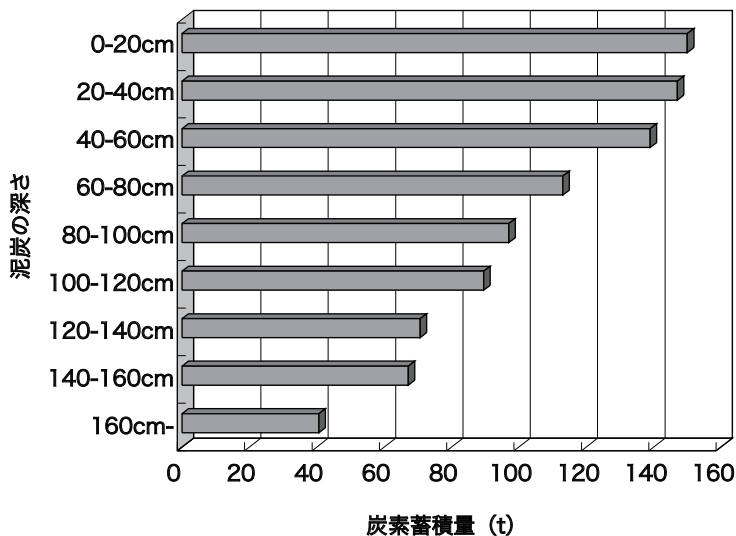


図8. 深さ別の炭素蓄積量.

## 謝辞

本調査に当たり、多大な便宜とご理解をいただいた土地所有者の正部川寛氏に心より謝意を表しますとともに、本調査に多くのご支援をいただいた独立行政法人国立環境研究所の山形与志樹主席研究員、環境省稚内自然保護官事務所の野川裕史自然保護官に深く感謝いたします。また、現地調査にご協力いただいた環境省利尻アクティブレンジャーの岡田伸也氏、自然ガイドの西島徹氏、佐藤里恵氏、高田早苗氏、室内分析にご指導ご協力をいただいた北海道環境科学研究センターの濱原和広研究員、村山康子氏、西本麻衣子氏、ならびに英文作成にご協力いただいた北海道工業大学非常勤講師の三島啓雄氏に心よりお礼申し上げます。

## 引用文献

- Andriessse, J. P., 1988. Nature and Management of Tropical Peat Soil. FAO Soil Bulletin, (59).
- 富士田裕子, 2000. 北海道利尻島種富地区の湿地植生について. 利尻研究, (19): 61-66.
- 富士田裕子・高田雅之・金子正美, 1997. 北海道の現存湿原リスト. 北海道の湿原の変遷と現状の解析:3-14, 財団法人自然保護助成基金, 東京.
- 北海道, 2005. 北海道環境白書 '05. 札幌.
- 北海道泥炭地研究会, 1988. 泥炭地用語事典. エコ・ネットワーク. 札幌.
- 北海道開発庁, 1963. 北海道未開発泥炭地調査報告.
- 五十嵐八枝子, 2006. 泥炭に眠る過去の情報を読み取る. 利尻島湿原セミナー講演要旨集, 3-4.
- IPCC, 2000. IPCC Special Report, Land Use, Land-Use Change and Forestry, Policy Makers Summary. Cambridge University Press. UK.
- 岩田進午・喜田大三監修, 1997. 土の環境圏. フジテクノシステム. 東京.
- 環境省, 2006. <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/index.html>.
- 木村真人・波多野隆介編, 2005. 土壌圏と地球温暖化. 名古屋大学出版会. 名古屋.
- 小杉和樹, 1997. 利尻島種富湿原の現状と保全について. 利尻研究, (16): 83-88.
- 小杉和樹, 2006. 利尻島におけるオオハンゴンソウ防除の取組. 利尻島湿原セミナー講演要旨集, 7-8.
- 村山重俊, 1995. 農林業協力専門家通信, (15): 13-33.
- 日本政策投資銀行地域政策研究センター, 2004. 日本列島のカーボンプール: 森林・森林土壌・湿地・農地土壌に関する研究. 地域政策研究, (11).
- 丹羽真一・渡辺 修・渡辺展之, 2001. 利尻島種富湿地の高等植物相. 利尻研究, (20): 69-74.
- 阪口 豊, 1974. 泥炭地の地学. 東京大学出版会. 東京.
- 真田悦子, 高橋正通, 1995. 北海道太平洋側の森林土壌の炭素蓄積量—火山灰と土壌の有機物固定. 北方林業, (47): 279-281.
- 高田雅之, 小杉和樹, 野川裕史, 佐藤雅彦, 2005. 利尻島南浜湿原及び種富湿原の泥炭形成過程について. 利尻研究, (24): 49-64.
- 高田雅之, 2006. 様々な角度から湿原環境を読み解く. 利尻島湿原セミナー講演要旨集, 5-6.
- 山川 修, 乙井康成, 中田外司, 矢口秀則, 関口辰夫, 畠山祐司, 沼田佳典, 1999. 全国の湿原変遷調査. 国土地理院時報, (92): 57-67.