

北海道東部の低層湿原の水循環 一 涛釣沼を例として一

| | |
|-------|--|
| メタデータ | 言語: Japanese 出版者: 独立行政法人農業工学研究所 公開日: 2024-02-13 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 土原, 健雄, 石田, 聡, 今泉, 眞之 メールアドレス: 所属: |
| URL | https://doi.org/10.24514/0002000041 |

北海道東部の低層湿原の水循環

— 涛釣沼を例として —

土原健雄*・石田 聡*・二平 聡**・今泉眞之*

目次

| | | | |
|------------|----|--------------|----|
| I 緒言 | 65 | 1 涛釣沼の水収支モデル | 71 |
| II 涛釣沼概要 | 66 | 2 解析結果 | 72 |
| 1 位置及び歴史 | 66 | 3 涛釣沼水位制御手法 | 73 |
| 2 面積の変遷 | 66 | V 結言 | 75 |
| III 調査 | 67 | 参考文献 | 75 |
| 1 測定地点及び方法 | 67 | Summary | 76 |
| 2 調査結果 | 68 | Appendix | 77 |
| IV 数値解析 | 71 | | |

I 緒言

農地開発に伴う排水改良や都市開発による集約的な土地利用が進み、その結果として湿原は減少してきた。しかし近年においては、2002年11月18日付けでラムサール条約にわが国の湿原が新たに2つ追加され、国内のラムサール条約登録湿地は計13箇所となるなど、湿原の有する特色ある自然資源の重要性が認識されて、開発等の人間活動と共存するような形で湿原環境の存続が強く望まれている。

北海道を中心として現存している国内の湿原も開発等を原因として縮小あるいは減少しており（富士田ら、1997）、湿原の現状把握及び保全対策の必要性が叫ばれている。湿原を保全するためには、湿原の土壌特性及び水環境特性の解明が重要であり、その基礎研究が進められている（粕渕ら、1994）。湿原の特徴的な土壌（泥炭）や地形に応じた水環境の機構を解明するための研究がなされ、それぞれの湿原水文環境に応じた様々な保全対策が提案されている（塩沢ら、1995、坪谷ら、1997）。また湿原の水位は、降水量、地表水及び地下水流出入量の変動に依存しており、わずかな降水あるいは流出入水量の変動で水位が大きく変動することもある。このため湿原域における水文環境特性を把握し、湿原にとって有効な保全対策を講じるためには、地表水及び地下水の湿原

域への流入出を正確に把握し、その水収支について明らかにする必要がある。

環境省ではプロジェクト研究「湿原生態系及び生物多様性保全のための湿原環境の管理及び評価システムの開発に関する研究」が進められており、本研究はその一環として行われた。調査地としては、低層湿原に分類される涛釣沼（とうつるぬま）（湖沼：北海道斜里町）を選定した。ここでいう低層湿原とは、泥炭が堆積する泥炭湿原のうち、泥炭の堆積層の薄いものを指し、低位泥炭地ともよばれる。低層湿原では、その環境と植生が湿原を涵養する水に依存して変化し、栄養塩に富んだ水で涵養されるとヨシやスゲ類が優先する湿原となる。これに対し高層湿原（高位泥炭地）は、泥炭の堆積層の厚い湿原であり、泥炭がドーム状に盛り上がった状態の湿原を指す。また低層湿原から高層湿原への遷移状態にある湿原を中間湿原（中位泥炭地）とよぶ（角野・遊磨、1995）。

本研究では涛釣沼湿原における水環境特性を把握するために、地形および水文学的な諸変量について測量及び調査を行った。これらの調査結果をもとに水収支モデルを構築して数値解析を行うとともに、放射性同位元素のラドン濃度を指標として湿原域の水文環境特性を把握した。さらにその結果を用いて涛釣沼湿原に有効と考えられる湿原環境保全手法の検討例を示した。

本研究では環境省プロジェクト研究「湿原生態系及び生物多様性保全のための湿原環境の管理及び評価システムの開発に関する研究」の予算を使わせていただいた。また調査においては、北海道農業研究センター土壌特性研究室の竹中眞氏をはじめ関係各位の御協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表す。

*地域資源部地下水資源研究室

**北海道開発局（前地下水資源研究室）

平成14年12月10日受理

キーワード：湿原，地下水，水収支，ラドン

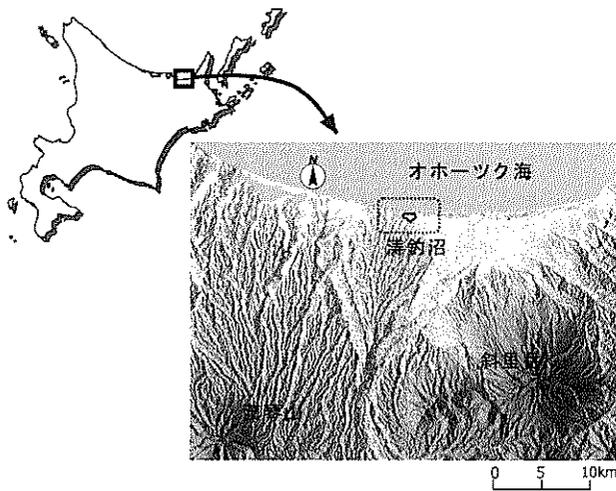


Fig.1 涛釣沼位置図
Location of Tohtsuruto swamp

II 涛釣沼概要

1 位置及び歴史

Fig.1 は涛釣沼の位置図を示す。涛釣沼はオホーツク海に面した砂丘と火砕流台地の間に位置する長径約1,000m、短径約500mの楕円形の沼である。行政区では斜里町大栄に含まれる。周辺は約270haの湿原に取り囲まれ、優先種であるキタヨシをはじめ、ガマ、オモダカ、ミクリなどの湿生植物が生育している。また沼には天然記念物に指定されるオジロワシ、ヒシクイが訪れ、重要な餌場となっており、涛釣沼を含めた砂丘地帯が国定公園に指定されている。沼へ流入する大きな河川はなく、南北に細長い流域を持つ小規模な3本の河川が沼南側より流入している。沼内の水は、沼東部の小水路及び湿原域を通じて沼東側をオホーツク海へと北流する宇遠別川に流出している。

斜里町史(斜里町, 1970)によれば、大正2年までは、この付近は、アイヌ名でト・コタン<沼村>と呼ばれており、昔アイヌの部落があったと考えられている。松浦武四郎の萬延元年(1860)の斜里地図には、この地名が記されている。明治45年にこの部落に最初に入植したのは、香川県人の今田元助であるが、大正2年末には農業をやめて別の地域に移ってしまった。大正2年ごろは、この付近の部落には道路らしいものはなく、湿地とうっそうたる森林地帯であった。大正2年11月に鶴の巣、涛釣の2字がこの部落の名前として付けられた。

この地域への本格的な入植は、大正3年に奈良県からの20戸の農民と考えられている。大正3年ごろの営農は、農家1戸あたり、平均1町歩(約1ha)で、馬鈴薯、豆、稲、きび、麦を作付けていた。昭和28年字名改称に当たり、「鶴の巣」は、大栄に変更になった。奈良県

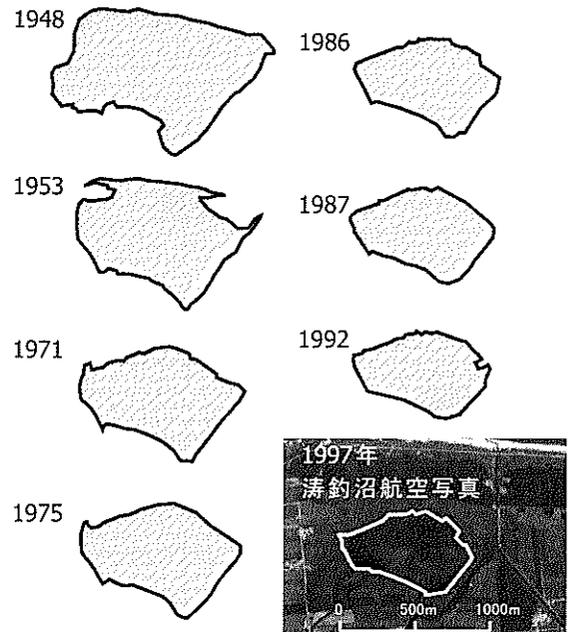


Fig.2 涛釣沼の外周の変化
Change of edge of Tohtsuruto swamp

人の団体入植後は、人口が増加して、大正12年には、55戸、328人が生活していた。昭和10年には、86戸、515名に増加した。戦争をはさんで人口は減少したが、その後人口は回復している。

大正8年の町史に「斜里、上斜里原野農地改良の目的で排水幹線出願、改良計画斜里原野4,938町」とある。このころから戦後不況が始まり、昭和5年に世界恐慌が起こっている。このため、不況対策もあり、排水幹線はすぐ実行され、昭和6年(1931年)には宇遠別川の改良工事が行われた。この工事により、斜里川へ流入していた宇遠別川と涛釣沼から溢流した水を排水していた小規模な河川が合流して直接オホーツク海へ流出するようになった。このように涛釣沼では沼水の流出環境が人為的に大きく変化した。

2 面積の変遷

涛釣沼の変化を把握するため、1948年から1997年までの50年間の航空写真から涛釣沼の面積を求めた。1948, 1953, 1971, 1975, 1986, 1987, 1992, 1997年の8枚の航空写真について沼の外周を読み取って面積を求めた。沼の外側に湿原が広がっていると思うが、航空写真から湿原とそうでない土地の境界を判別することが困難であり、また、湿原に見える場所も実際には乾燥化により草原状態になっているなど判読できない。このため湿原全体ではなく沼の面積について検討する。

航空写真で求めた涛釣沼の外周を各年毎に Fig.2 に示す。Table 1 は計測した面積及び面積の変化の割合を示す。Fig.2 と Table 1 から沼は年を経るごとに縮小し、1948年に766,861m²あった沼の面積は1997年には

Table 1 涛釣沼の面積の変化および変化割合

| Change of size and change ratio of Tohtsuruto swamp | | |
|---|----------------------|--------|
| 年 | 面積 (m ²) | 変化割合 |
| 1948 | 766,861 | 100.0% |
| 1953 | 577,098 | 75.3% |
| 1971 | 525,559 | 68.5% |
| 1975 | 521,943 | 68.1% |
| 1986 | 429,594 | 56.0% |
| 1987 | 428,822 | 55.9% |
| 1992 | 406,249 | 53.0% |
| 1997 | 379,386 | 49.5% |

※割合については 1948 年の面積を基準として計算

Table 2 涛釣沼流入河川の流域面積

| Catchment area of rivers flowing into Tohtsuruto swamp | | | |
|--|-------|-------|-------|
| 河川 | A | B | C |
| 流域面積 (km ²) | 4.457 | 3.298 | 2.093 |
| 流量 (m ³ /d) | 540 | 4215 | 933 |
| 流出率 | 4.7% | 49.3% | 17.2% |

379,386m² となり、1948 年から 1997 年までの 50 年間で 50.5%減少している。年代別に見れば、沼の面積が 1948 年から 1953 年にかけて最も大きく減少し、5 年間で約 75%に縮小している。その後、1975 年から 1986 年にかけて沼はやや縮小している。このような大きな変化だけでなく、この 50 年間を通して沼面積は漸減していることがわかる。

斜里町史 (斜里町, 1970) に「1952 年：宇津内原野 トーツール沼切り替え工事完成」とあり、このような工事によって 1948 年から 1953 年に涛釣沼は大幅に縮小したと考えられる。また、1975 年から 1986 年にかけて、宇遠別川の付換工事が行われたため沼の面積が減少し、その後も地形や排水条件の変化を受けて沼の面積は減少する傾向にある。これらの結果から、沼及びその周辺の湿原は開削工事等の人為的な影響によって面積を大幅に減少することがわかる。

III 調査

1 測定地点及び方法

Fig.3 に涛釣沼の地図と観測点を示す。調査では、沼 (開水面) 内に概ね 100m メッシュとなるように観測点を 46 点設置し (Fig.3 中の黒いマル印 (●)), ラドン濃度、水温、pH、溶存酸素濃度 (DO)、酸化還元電位 (ORP)、電気伝導度 (EC) の計測を行った (2000 年 7 月)。今回計測を行ったラドンは水に溶解する放射性ガスで、半減期は 3.8 日である。ラドン (²²²Rn) は帯水層を構成する土粒子のラジウム (²²⁶Ra) が α 崩壊の反跳により地下水

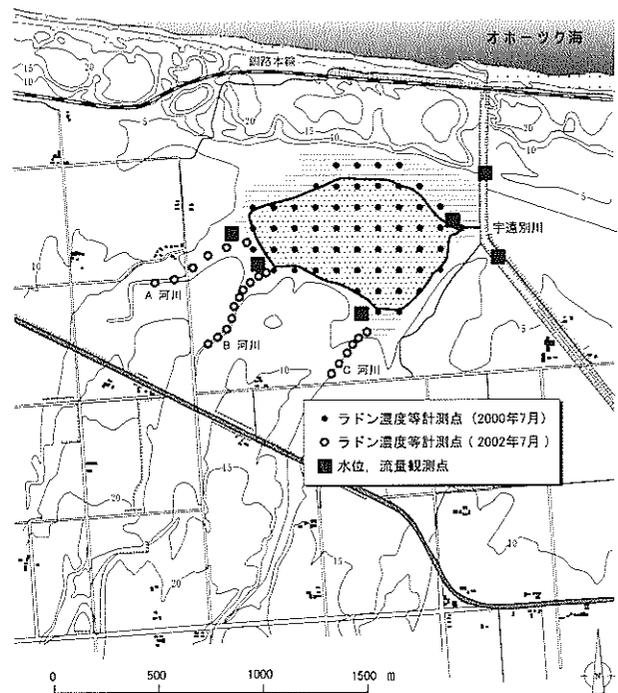


Fig.3 観測点位置図

Location of observation points

中に放出されたもので、地表水よりも地下水に多く含まれる。これを利用して、流出水に含まれる地下水の割合を測る指標として用いる。ラドン濃度は観測点で採水した試料をトルエンを用いた溶媒抽出法で濃集し、そのサンプルを実験室に持ち帰って液体シンチレーションカウンターで計測した。分析方法は濱田ら (1997) による。検出限界は 0.03Bq/l、測定誤差は ± 17%~ 6%であった。水温、pH、DO、ORP、EC については測定機器を用いて、現地採水直後に計測した。

また、2002 年 7 月に涛釣沼へ流入する 3 河川でラドン濃度、水温、pH、電気伝導度 (EC) を測定した。観測点は、Fig.3 の中抜きのマーカー (○) で表す。A 河川はおよそ 100m 間隔で 6 点、B 河川はおよそ 50m 間隔で 10 点、C 河川はおよそ 50m 間隔で 6 点で測定した。

また、これらの調査と並行して湖底堆積物を調査するため、当所河海工研究室中矢研究員らとともに簡易貫入試験及び採泥試験を行った。この結果については、本報の内容と直接関連しないので参考データとして Appendix に掲載する。

また、涛釣沼域の水文データを得るために、自記式水位計を設置して水位を連続観測するとともに、流量観測を行った。涛釣沼へ流入する 3 河川 (図中の A, B, C 河川) のそれぞれの流域面積は Table 2 に示す。B 河川は流量が他河川に比べて多く、涛釣沼の水位変動に大きな影響を与えられられるので、水位の連続観測及び流量観測を行った。A, C 河川は流量観測のみを行った。涛釣沼は水位を連続観測するとともに、宇遠別川へ排水する水路で流量観測を行った。宇遠別川は、涛釣沼から

の合流地点を挟んで上流側と下流側の地点で水位の連続観測及び流量観測を行った。観測期間は2000年7月14日から2001年10月31日までの475日間である。

2 調査結果

a 水質測定結果

涛釣沼の湖底地形は Fig.4 に示す等高線から沼の西側が高く、東側へいくにしたがって低くなり、このため沼の西側は水深が浅く、東側は水深が深くなっている。最も深い場所は沼の南東部である。涛釣沼の水面標高が1.50mの場合、沼の平均水深は0.16mで、最大水深は0.42m(沼南東部)である。またV-H曲線は次式になっている。

$$V = -2.13 \times 10^5 + 8.81 \times 10^5 \times \ln H \quad \dots\dots(1)$$

ここに、Vは涛釣沼の貯水容量(m³)、Hは水位(m)である。

Fig.5 に涛釣沼のラドン濃度の分布を示す。河川水が沼へと流入する沼の南西部分のラドン濃度が高く、東側の沼出口へ向かって水の移動方向にラドン濃度が減少する。これらの結果より、涛釣沼へ流入した河川水は地下

水の割合が高く、地下水が涛釣沼水域の水環境に大きく寄与することがわかる。

Fig.6 に7月の水温分布を示す。沼内の平均水温は26.7℃であるが、沼の南西部に水温が14.2℃の部分があり、沼平均水温より10℃以上も低くなっている。また、その地点から沼を横切るような形で低水温の帯状部分を形成している。これは水温の低い地下水が沼へ流入して、沼を横切って排水河川の宇遠別川へ流れていることを示している。また、沼の南東部の水温が低くなっているのは、Fig.4 で説明したように水深が深いと関係がある

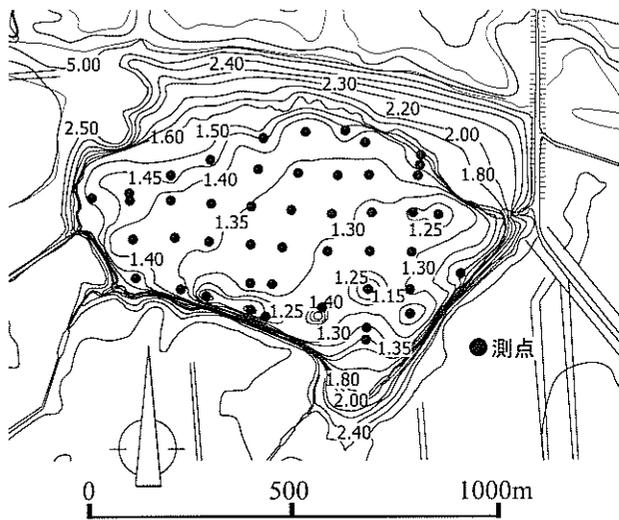


Fig.4 涛釣沼湖底地形
Bottom level of Tohtsuruto swamp

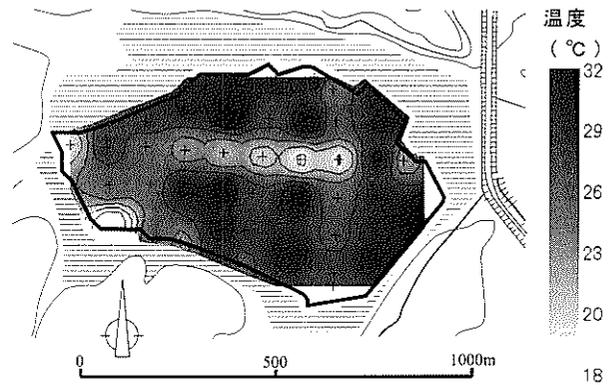


Fig.6 水温分布(2000.7)
Distribution of water temperature

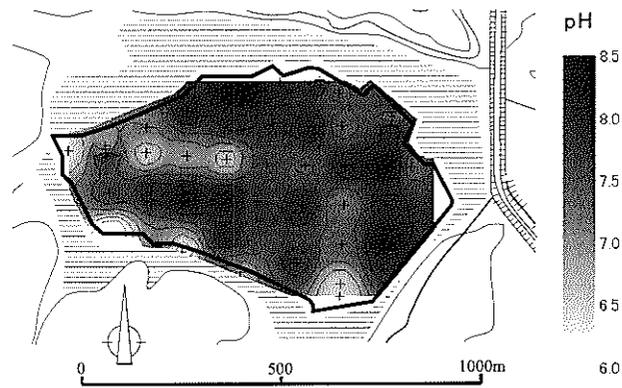


Fig.7 pH分布(2000.7)
Distribution of pH

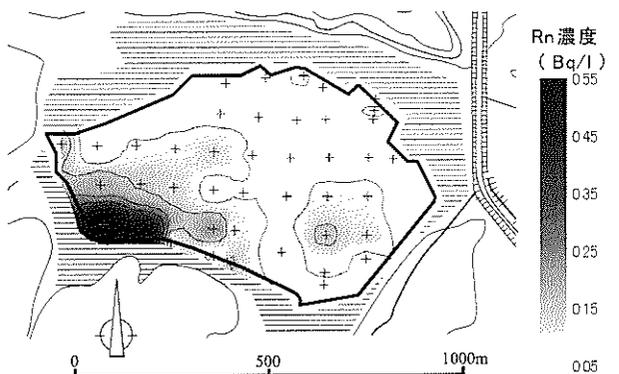


Fig.5 涛釣沼のラドン濃度分布(2000.7)
Distribution of Radon Concentration in Tohtsuruto swamp

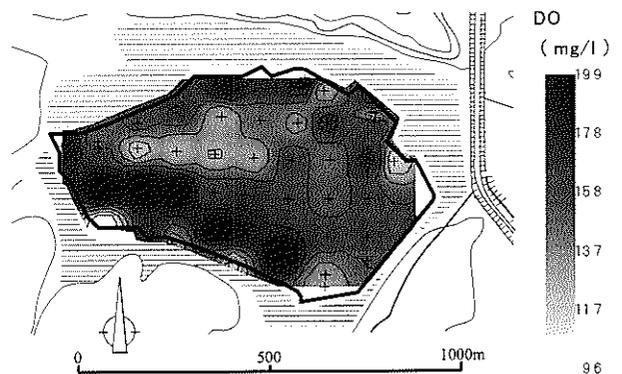


Fig.8 溶存酸素(DO)分布(2000.7)
Distribution of dissolved oxygen

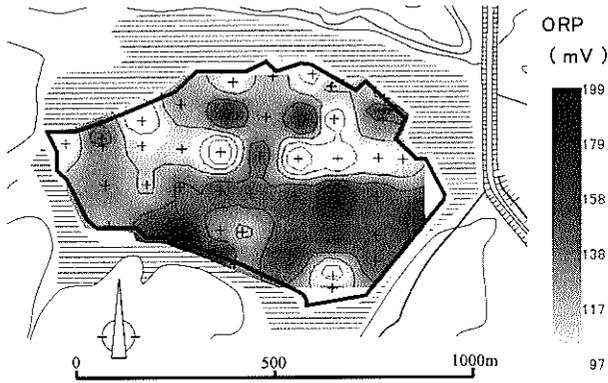


Fig.9 酸化還元電位 (ORP) 分布 (2000.7)
Distribution of oxidation reduction potential

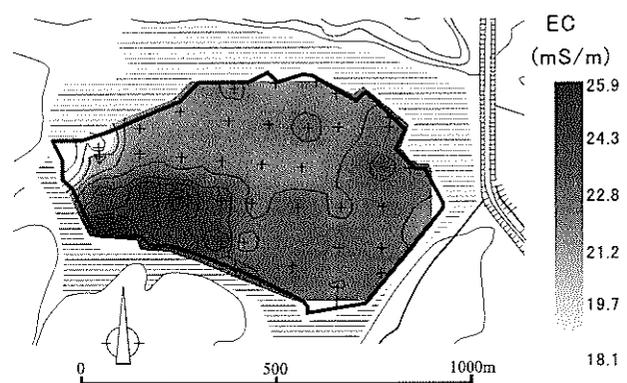


Fig.10 電気伝導度 (EC) 分布 (2000.7)
Distribution of electric conductivity

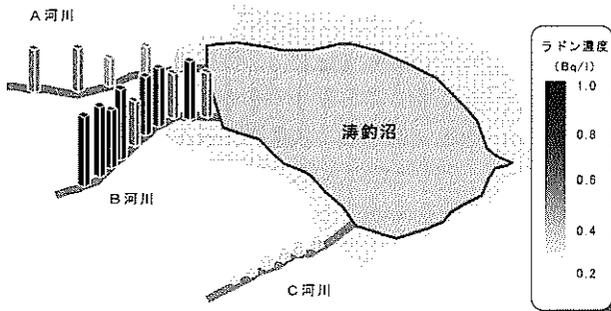


Fig.11 流入河川のラドン濃度分布 (2002.7)
Distribution of Radon concentration (^{222}Rn) in rivers

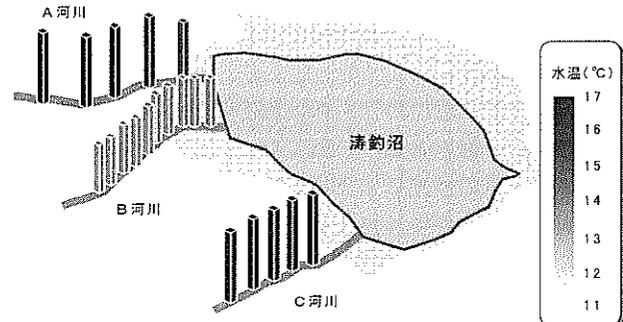


Fig.12 流入河川の水温分布 (2002.7)
Distribution of water temperature in rivers

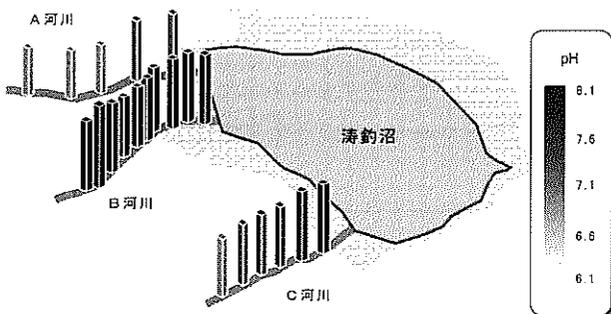


Fig.13 流入河川の pH 分布 (2002.7)
Distribution of pH in rivers

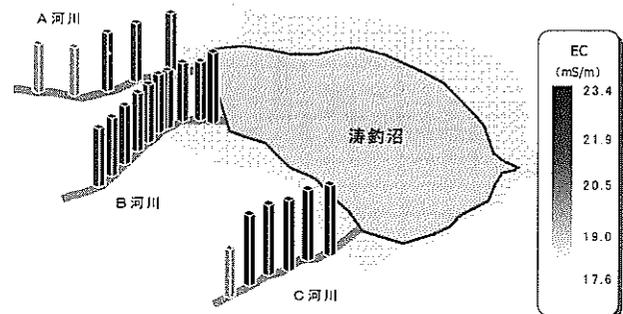


Fig.14 流入河川の電気伝導度 (EC)分布 (2002.7)
Distribution of electric conductivity in rivers

と考えられる。

Fig.7 に pH の分布を示す。沼内の pH の平均値は 7.5 であり、ほぼ中性である。河川流入部の南西部が低くなっている。また、水温分布と同様に、沼の中央に pH の低い帯状部分が形成されている。このため、沼へ流入した河川水は中心部を通って排水河川である宇遠別川へ流出するという水の流れがわかる。

Fig.8 に溶存酸素濃度 (DO) の分布を示す。沼内の DO の平均値は 15.7mg/l である。図より、DO 分布は水温と類似した傾向を示すが、河川流入部分から DO の低い部分が広がるような分布を示さなかった。また、水温が高くなると DO は小さくなる傾向にあり、この図でもその特徴を捉えている。

Fig.9 に酸化還元電位 (ORP) の分布を示す。ORP は

水中の酸化還元状態を表す数値である。沼内の ORP の平均値は 124.3mV である。ORP は水温や DO の計測結果と同様、水の流れる部分に沿って低い値を示す。このため地下水流入して流れがある場所の水は抗酸化作用が強いといえる。

Fig.10 に電気伝導度 (EC) の分布を示す。EC は水中の無機イオンの総量を表している。また、地表水よりも地下水の電気伝導度が高い傾向にあり、地下水の流れを把握する指標のひとつと考えている。Fig.10 より、EC の値は、河川が流入する部分で高く、東側で低くなっている。沼内の平均 EC は 22.0mS/m と高い値を示し、ラドン濃度と同じように地下水流入の割合が高いことを示すと考えられる。

以上の観測結果から、涛釣沼内は南西の河川流入部が

ら東の宇遠別川へつながる排水口側及び最も水深の浅い沼の南東部へ流動していることが明らかとなった。また、特に河川流入部のラドン濃度が高く、河川流入部分及び水移動部分の水温が低く、河川流入部分を含め沼全体の電気伝導度が高くなっていることから、流入河川水に地下水が多く含まれ、湧釣沼の水循環に大きな影響を与えていることがわかった。

次に2002年7月に行った調査結果を示す。Fig.11に流入河川のラドン濃度分布を示す。B河川は他の2河川と比べてラドン濃度が高く、B河川に含まれる地下水の割合が高いことがわかる。A, B, C河川のそれぞれ平均ラドン濃度は0.44, 0.75, 0.09(Bq/l)である。B河川の調査区間約500mではラドン濃度が揮散等減衰せず高くなっている。このため地下水が連続して浸出していると考えられる。

Fig.12に流入河川の7月の水温分布を示す。水温はB河川が他の2河川と比べて低くなっている。これは水温が低い地下水の浸出によるもので、ラドン濃度と同様に、B河川は地下水が多く含まれていることを示している。A, B, C河川のそれぞれの平均水温は15.0, 11.3, 15.9(°C)となり、B河川の水温がA, C河川に比べて4°C

近く低い結果となった。

Fig.13に流入河川のpH分布を示す。A, B, C河川はpHの平均値が6.3, 7.0, 6.7で、沼内のpH平均値(7.5)より低い値を示した。流入河川のpHはほぼ中性である。A, C河川に比べてB河川のpHはやや高くなっている。

Fig.14に流入河川の電気伝導度(EC)の分布を示す。A, B, C河川のそれぞれのECの平均値は18.2, 19.4, 21.2mS/mであった。これらの河川は沼内の平均値と同様に高い値を示した。

以上の結果から、2002年7月の調査では流入河川の中で、特にB河川のラドン濃度は高く、水温は低くなり、B河川の河川水は地下水が多く含まれていることがわかった。

b 水位

観測した水位変動をFig.15に示す。図中の水位は標高である。流入河川であるB河川の水位は高く、続いて宇遠別川上流、湧釣沼、宇遠別川下流の順で水位が推移している。それぞれの水位は類似した変動パターンを示し、湧釣沼周辺水域の水位は降雨量の影響を受けることを示している。

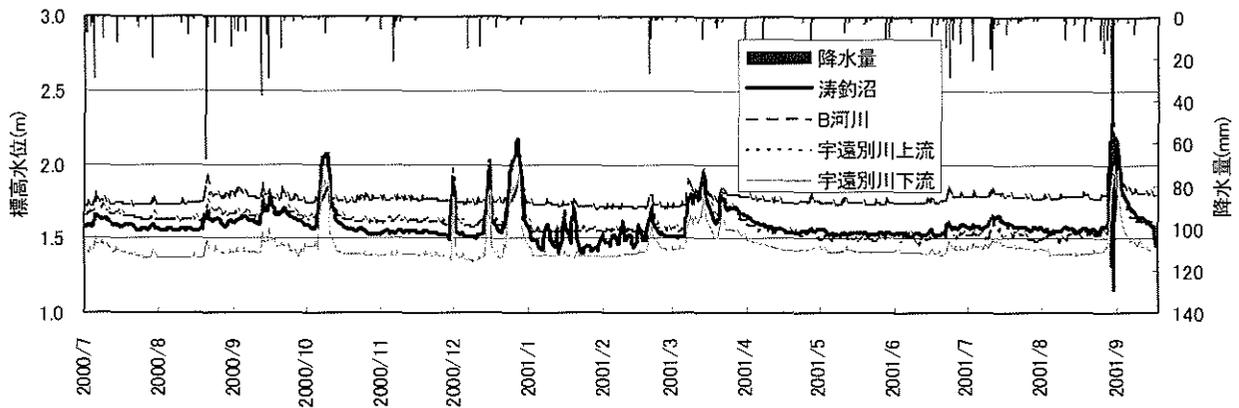


Fig.15 湧釣沼域の観測水位

Observation water level in the area of Tohtsuruto swamp

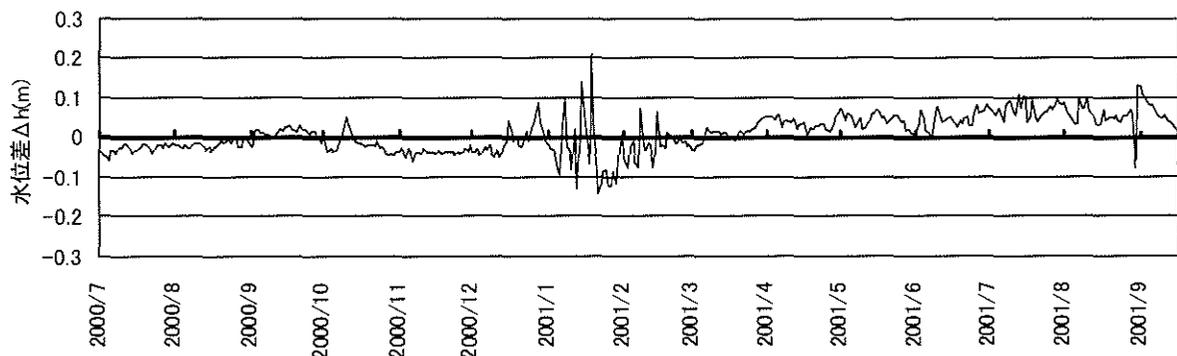


Fig.16 湧釣沼と宇遠別川の水位差

Difference of water level between Tohtsuruto swamp and Uenbetsu River

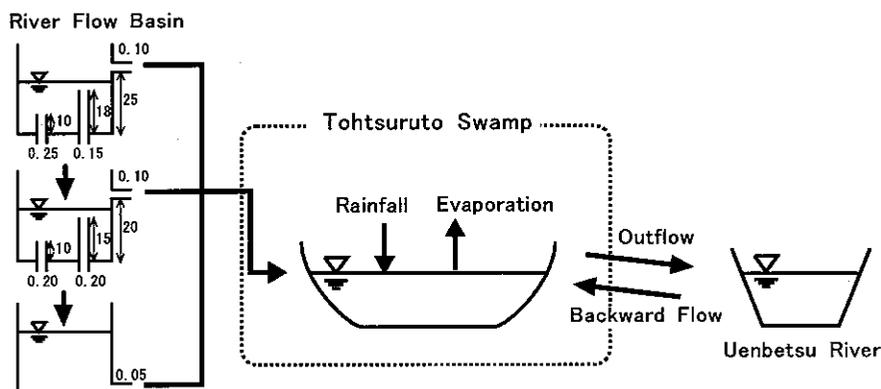


Fig. 17 涛釣沼水域の水収支モデル
Water Balance Model in the Area of Tohtsuruto Swamp

涛釣沼の水位と宇遠別川の水位を使って、涛釣沼と出口の水位差 Δh を次式で計算する。

$$\Delta h = h_1 - h_2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 h_1 は涛釣沼の水位、 h_2 は涛釣沼出口の宇遠別川の水位を示す。 h_1 は、宇遠別川上流と下流の水位を用いて距離の比例配分によって涛釣沼から出口の合流地点水位とした。

Δh の変化を示すと Fig.16 になる。図から、涛釣沼の水位が宇遠別川の水位よりも常に高いのではなく、排水路の出口である宇遠別川の水位が高い時期も確認できる。この結果から涛釣沼内の水は一方的に宇遠別川へ流出するのではなく、宇遠別川の水位が涛釣沼の水位より高いときに沼内へ逆流すると考えられる。このため、涛釣沼域の水収支解析では宇遠別川からの逆流量を考慮する必要がある。

IV 数値解析

1 涛釣沼の水収支モデル

a 水収支モデル

調査結果に基づいて涛釣沼の水収支を計算する水収支モデルを構築する。涛釣沼周辺の地層には一様のシルト層が見られ (Appendix 参照)、沼から地下方向への浸透、あるいは外部から沼への浸透はないと判断できるため、涛釣沼の水収支は3河川からの流入、宇遠別川への流出、宇遠別川からの逆流、降水、蒸発散という単純な水収支システムから成る。また調査結果をもとに水収支モデルは次の2点を解析できるように考えた。①涛釣沼へ流入する河川水に含まれる地下水の流出量が解析できる②排水河川である宇遠別川から沼への逆流現象が解析できる。このような考えから水収支モデルは Fig.17 に示すように、河川の流出モデル、涛釣沼の水位を解析するモデル、宇遠別川からの逆流を解析できるモデルからなる。

涛釣沼へ流入する河川は三段のタンクモデルを用いて、沼への流入量を求める。宇遠別川への排水量と宇遠別川からの逆流量を解析するモデルを加えて、涛釣沼の

水収支を解析するモデルを構築する。タンクモデルの諸係数は図中に示した。降水量は一段目のタンクに投入され、蒸発散量は一段目のタンクから減じるが、一段目のタンクに水がないときは二段目から、二段目も水がないときは三段目から減じる。一段目と二段目のタンクは、側面と底面に流出孔 (1つ) と浸透孔 (2つ) を持ち、三段目のタンクは側面に流出孔のみとした。三段タンクモデルからの流出量は、上段タンクが表面流出、中段タンクが中間流出、下段タンクが地下水流出を表すとして、地下水流出量を求める。

このタンクモデルでは B 河川の観測結果を用いて流域のモデル化を行った。3河川のうち最も流量の多い B 河川において地下水の湧出がラドン濃度により示唆されたため、地下水流出量を計算するために B 河川を代表させてモデル化した。流量の少ない A, C 河川についてはタンクモデルで求めた地表流出量を流域面積に応じて比例配分することにより地表流出を求め、総流出量から地表流出を減じることで地下水流出を求めた。

宇遠別川への流出量と宇遠別川からの逆流量は、涛釣沼と宇遠別川の水位差 Δh を用いて次式で表現する。(3)式~(5)式の係数は、流量観測の結果から求めた。涛釣沼の水位が高い場合は沼内の水が宇遠別川へ流出し ($\Delta h \geq 0, Q \geq 0$)、宇遠別川の水位が高い場合は宇遠別川から沼内へと逆流するように流量を与える ($\Delta h < 0, Q < 0$)。

$$Q = k_1 \Delta h (23330h - 25399) \quad (\Delta h \geq 0) \quad \dots(3)$$

$$Q = -k_2 \Delta h (23330h - 25399) \quad (\Delta h < 0) \quad \dots(4)$$

$$\Delta h = h_1 - h_2 \quad \dots(5)$$

ここに、 Q は沼からの流出量 (m^3/day)、 h は沼の水位、 h_1 は沼の水位 (h に同じ)、 h_2 は宇遠別川の水位である。式(3)、(4)は流量観測から求めた H-Q 関係式に Δh を乗じたもので、水位差によって流量が変化する。 k_1, k_2 は補正係数であり $k_1=25.0, k_2=10.0$ である。

涛釣沼は北海道の北東部に位置するため積雪地域であり、冬期は降水量を雪として解析する必要がある。積雪

地域では春季の河川水はほとんど融雪水と考えられる。融雪出水の解析手法には、熱収支に基づく方法と経験的な方法に区別される。熱収支による融雪の解析では、融雪の原因となる熱量を熱力学的に計算し融雪水量を算出する。経験的な方法としては気温日数を用いる方法が代表的である。気温日数法は融雪の原因となる様々な因子のうち気温に着目し、融雪水量は0℃以上の気温の積算値に比例するという関係を用いた算出方法である(日野・長谷部, 1985)。気温日数法による融雪水量は次式で表される。

$$Q_{ST}=K\sum T_0 \quad \dots\dots\dots(6)$$

ここに、 Q_{ST} は融雪量 (mm), T_0 は0℃以上の日平均気温 (℃), $\sum T_0$ は Q_{ST} の算定と同じ期間の T_0 の積算値, K は気温日融雪率 (mm/(day・℃)) である。

本研究では数値解析において日単位の融雪量が必要となるので、日単位融雪量を0℃以上の気温に比例するとして、次式を用いる。

$$Q_S=KT_0 \quad \dots\dots\dots(7)$$

ここに、 Q_S は日単位の融雪量 (mm/day) である。

気温日融雪率は一律に決定するのではなく、1～30の値をとり、ばらつきが多いといわれている(日野・長谷部, 1985)。また秀島・澤田の北海道山岳地帯の融雪流出解析では $K=5.96$ が用いられている(秀島・澤田, 1992)。このため本研究では試行錯誤の結果、 $K=5.5$ を採用した。

b ラドン収支式

ラドンは地表水には含まれず地下水にのみ含まれるという特性を利用して、ラドン収支を計算し、河川水に含まれる地下水の割合を算定する。ラドン収支は次式で解析する。

$$(Q_x c_x) - (R_d + R_f + Q_o c_o) = \Delta R_n \quad \dots\dots(8)$$

ここに、 Q_x , Q_o は涛釣沼への流入量及び涛釣沼からの流出量 (m^3/s), x は流入量に含まれる地下水流量の割合, c_x は流入地下水のラドン濃度 (Bq/m^3), c_o は沼のラドン濃度 (Bq/m^3), R_d は放射性崩壊によって失われるラドン量 (Bq/s), R_f はラドンの大気中への飛散量 (Bq/s), ΔR_n は沼内でのラドン濃度の変化量 (Bq/s) である。

放射性崩壊によって失われるラドン量 R_d は次式で求める。

$$R_d = -\lambda(C_w V_w) \quad \dots\dots\dots(9)$$

ここに、 λ は崩壊定数 ($2.08 \times 10^{-4} s^{-1}$), C_w は貯水の濃度 (Bq/m^3), V_w は貯水の体積 (m^3) である。

大気中への飛散するラドンは一様と見なせるとき、水と空気の境界に停滞膜を仮定して、次式で飛散量 R_f を求めることができる。

$$R_f = AD(C_a - C_w)/Z \quad \dots\dots\dots(10)$$

ここに、 A は貯水池の面積 (m^2), D はラドンの拡散係

数 ($1.3 \times 10^{-9} m^2/s$), C_a は大気中のラドン濃度 (Bq/m^3), Z は仮定した停滞膜の厚さである。 C_w は0とみなすことができる。また Z は無風状態で $200 \mu m$ という値を採用した(濱田ら, 2001)。

涛釣沼からの流出量は、地形的に地下水流出はなく地表流出のみであるとした。また、地下水のラドン平衡濃度は、涛釣沼域に湧出する地下水の濃度 ($5.65 Bq/l$) を用いた。式(8)を x について解くと流入河川に含まれる地下水の割合を求めることができる。

2 解析結果

a 流入河川域の流量変動

タンクモデルで涛釣沼への流入量を計算すると Fig.18 のようになる。タンクモデルで計算した流量を B 河川の観測値と比較すると、図より計算結果と観測結果はよい一致を示している。このため作成したタンクモデルは涛釣沼流域からの流出量を解析するのに有効であると考ええる。

涛釣沼のラドン濃度を測定した結果から、河川水の流入部分でラドン濃度が高くなっているため、地下水は涛釣沼へ直接湧出せず、沼へ流入する前に湧水として河川に流出していると判断できる。これより表面流出、中間流出、地下水流出の流量を合わせた値を観測地点の河川流量とする。Fig.19 に流入河川水から分離したタンクモデルの三段目からの流出を地下水流出量として示す。これらの結果から、降雨等によって流量が多いときは表面流出の影響が大きくなるが、それ以外の基底流出部分では地下水流出の影響が大きくなるのがわかる。この計算によって、流入河川水の表面流出と地下水流出の割合を求めた。タンクモデルでは流量が最も多い B 河川について計算を行っているので、比例配分することで A, C 河川の地下水の割合を求める。また、ラドン収支式を用いて、流入河川水に含まれる地下水の流出量を求めた。ラドン収支は 2000 年 7 月に行った計測結果をもとに計算した。Table 3 に 2 つの手法で求めた流入河川の地表水と地下水の割合を示す。Table 3 より、流入河川水に占める地下水流入量の割合は 70%以上と非常に高く、涛釣沼域の水収支に対して地下水流入量の影響が大きいことが明らかとなった。

b 涛釣沼域の水位変動

タンクモデルで計算した河川流入量を入力値として、涛釣沼水域の水収支モデルを計算した。Fig.20 は水収支

Table 3 流入河川に含まれる地表水と地下水の割合

Ratio of surface water to groundwater in the river flowing into Tohtsuruto swamp

| 種 類 | 水収支モデル | | ラドン収支式 | |
|----------------|--------|-------|--------|-------|
| | 地表水 | 地下水 | 地表水 | 地下水 |
| 流量 ($m^3/日$) | 1195 | 3535 | 1496 | 4192 |
| 割 合 | 25.3% | 74.7% | 26.3% | 73.7% |

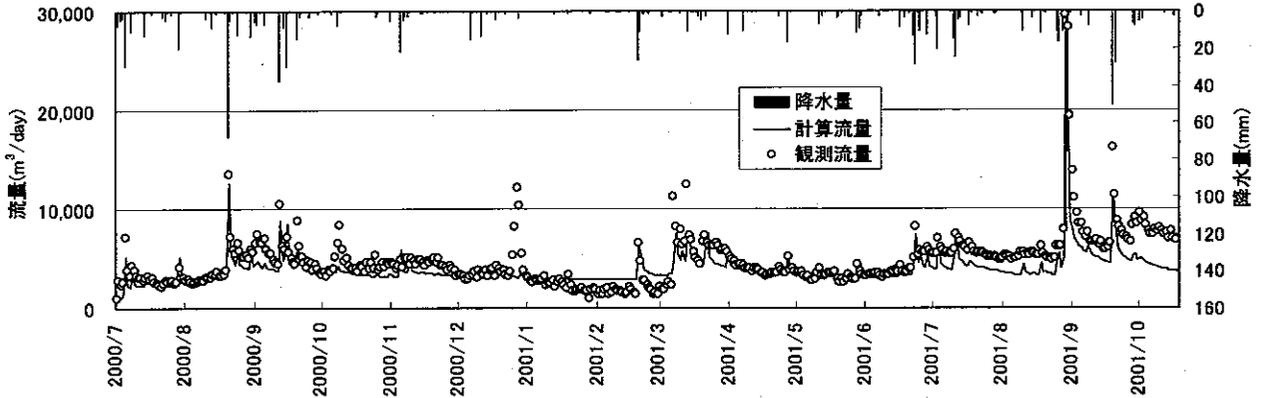


Fig.18 流入河川の流量変動のシミュレーション結果

Simulation result of tank model for the volumetric water of river flowing into the Tohtsuruto swamp

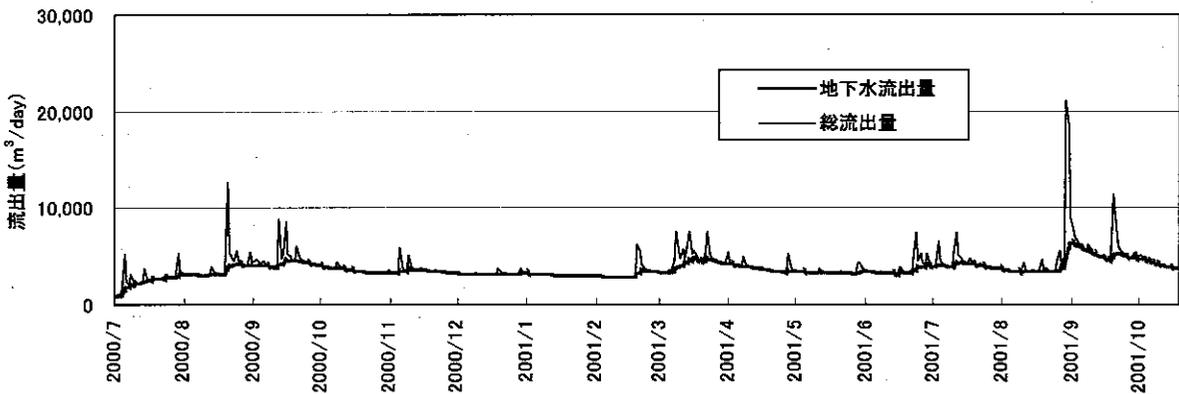


Fig.19 流入河川 (B 河川) の地下水流出分離

Separation of volumetric river water flowing into the swamp

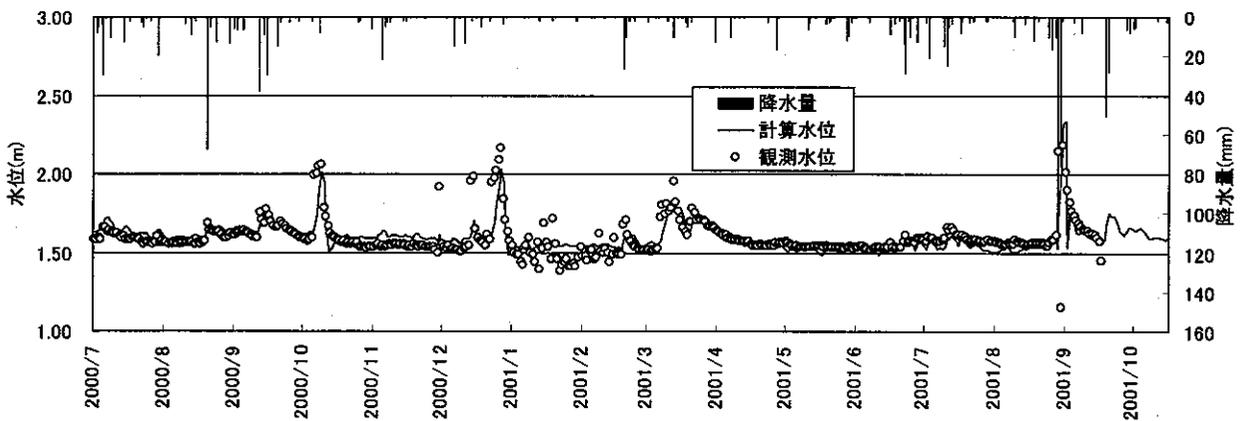


Fig.20 水収支モデルの計算結果 (湧釣沼水位)

Simulation result of the water balance model for the water level in Tohtsuruto swamp

増加に及ぼす影響も求めたので、その結果を Table 4 に示す。この表は湧釣沼貯水量の増加量及び宇遠別川からの流入量の年間変動量を示しており、宇遠別川からの逆流量の湧釣沼貯水量増加量に対する割合は 22.7%と算定された。この結果から湧釣沼内の水は一方的に宇遠別川へと排出されていないこと、また湧釣沼の水位保持のた

めには宇遠別川の影響は非常に大きいということが明らかとなった。

3 湧釣沼水位制御手法

湧釣沼水位の変動に沼の東側を流れる宇遠別川の水位が大きく影響しているという特徴を利用して、湧釣沼湿

原の保全手法の検討例を示す。沼の水位を保持する方法としては、排水路に面する岸を遮水シートで護岸する手法、バイパス水路を設けて沼への流入量増加を試みる等の手法があるが、ここでは宇遠別川から逆流量が涛釣沼水位の増加に22.7%寄与していることに着目し、宇遠別川の水位を堰上げることにより、涛釣沼の水位を高く保持する手法を採用する。排水路を堰上げて湿原の水環境を保全する手法については梅田・井上(1995)によっても提案されている。

Fig.21 にその制御手法の概念図を示す。ここに示す手法は宇遠別川の水位を高く保つことで涛釣沼の水位の上昇、面積の拡大を図り、湿原環境を制御することを試みるものである。宇遠別川の河床断面を矩形であると仮定し、矩形全幅堰を涛釣沼との合流地点よりさらに下流側の宇遠別川に設け、前節で用いた水収支モデルを用いて計算を行った。計算においては、この堰により低水位期においても堰高以下には水位が下がらないと仮定している。また越流量については、以下の石原・井田の式より計算した。

$$Q = CBh^{3/2} \dots\dots\dots(11)$$

$$C = 1.785 + \left(\frac{0.00295}{h} + 0.237 \frac{h}{W} \right) (1 + \epsilon) \dots\dots(12)$$

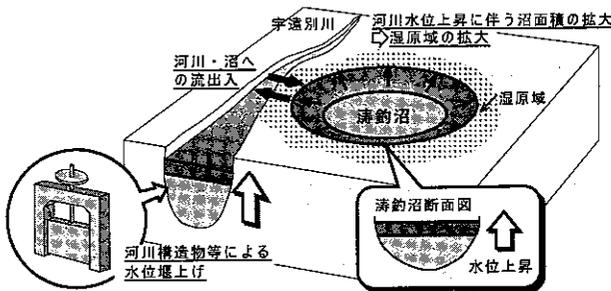


Fig.21 宇遠別川水位上昇による涛釣沼水位制御手法

Control method of water level in Tohtsuruto swamp by rising the water level in Uenbetsu River

ここに、 Q は越流量(m^3/s)、 B は堰の幅(m)、 h は越流水深(m)、 C は流量係数($m^{1/2}/s$)、 W は水路底より堰縁まで高さ(m)、 ϵ は補正項で $W \leq 1m$ のとき $\epsilon=0$ 、 $W > 1m$ のとき $\epsilon=0.55(W - 1)$ である。適用範囲は、 $B \geq 0.5m$ 、 $0.3m \leq W \leq 2.5m$ 、 $0.03m \leq h \leq 0.8m$ である(玉井, 1989 による)。

Fig.22 は宇遠別川に堰を設けた場合の涛釣沼の水位変動を示す。設けた堰は1.50mと1.60mであり、堰高は実際の堰高ではなく標高に換算している。図より、堰を設けることで宇遠別川の最低水位が高く保たれ、それに連動して涛釣沼の低水位時期の水位が上昇することがわかる。つまり、沼の水位が高いときは宇遠別川を堰上げる影響は少ないが、沼の水位が低いときは宇遠別川からの逆流量の増加により沼の水位が上昇する傾向にある。Table 5 に宇遠別川の水位を上昇させたときの涛釣沼の年平均水位及び年平均面積の変化を示す。例えば、1.60m

Table 4 涛釣沼貯水量増加に及ぼす宇遠別川の影響

Effect of backward flow from Uenbetsu River on increase of a volume of water in Tohtsuruto swamp

| | 年間変動量 |
|------------|----------------------|
| 涛釣沼貯水量の増加量 | 326.0 万 m^3 |
| 宇遠別川からの流入量 | 74.0 万 m^3 (22.7%) |

※括弧内数字は涛釣沼貯水量増加量に対する宇遠別川からの流入量の割合

Table 5 宇遠別川堰上げによる涛釣沼の水位及び面積変化
Changes of water level and size of Tohtsuruto swamp by damming up in Uenbetsu River

| 堰高(m) | 年平均値 (涛釣沼) | |
|-------|----------------|-------------------|
| | 水位(m) (変化率) | 面積(m^2) (変化率) |
| 堰なし | 1.601 (100.0%) | 442,622 (100.0%) |
| 1.45 | 1.609 (100.5%) | 446,616 (100.9%) |
| 1.50 | 1.632 (102.0%) | 457,373 (103.3%) |
| 1.55 | 1.670 (104.3%) | 472,564 (106.8%) |
| 1.60 | 1.718 (107.3%) | 488,141 (110.3%) |

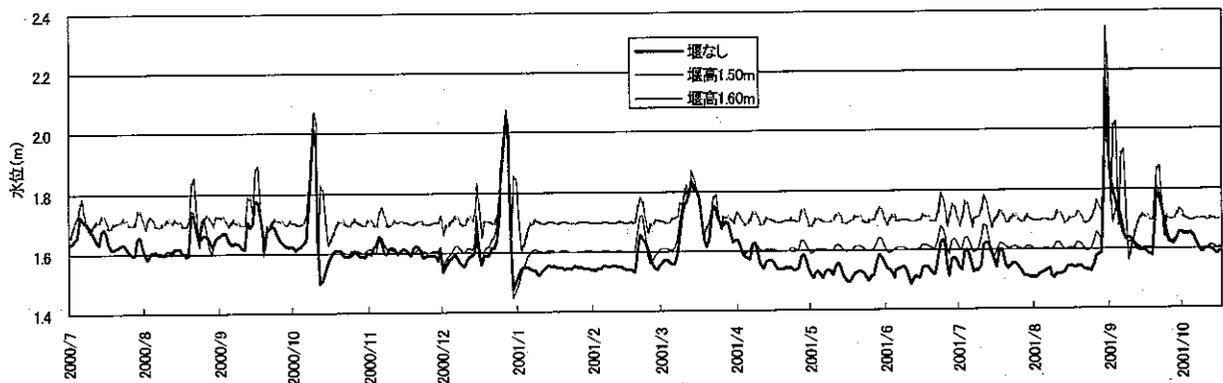


Fig.22 宇遠別川の水位を堰上げた場合の涛釣沼水位のシミュレーション結果

Simulation result for changes of water level of Tohtsuruto swamp by damming up in Uenbetsu River

の堰高を持つ堰を宇遠別川に設けた場合は、年平均で水位が7.3%上昇し、面積が10.3%増加すると算定された。

これらの結果より、宇遠別川に堰を設けることで濤釣沼の水位は上昇し、濤釣沼面積の拡大に効果があることがわかった。ただし、周囲の農地の側面からすると、宇遠別川の水位上昇は農地の排水性減退につながるという問題点を抱えている。よって実際にこの手法を適用する場合には、濤釣沼の湿原環境保全のための水位上昇のみを目的とするのではなく、周囲の農地の排水性との調和について検討を加える必要がある。

V 結言

本報では北海道濤釣沼を対象として調査及び数値計算を行うことで、濤釣沼湿原域における水文特性を明らかにした。得られた結論を以下にまとめる。

①濤釣沼へ流入する河川に含まれている地下水の割合は70%以上と非常に高く、濤釣沼水域の水循環に大きく寄与していることが、水収支計算及びラドンの質量収支計算により明らかとなった。

②濤釣沼の貯水量増加に対して宇遠別川からの逆流現象が占める割合は22.7%とその影響は大きく、濤釣沼の水収支を考える際は逆流現象を考慮する必要がある。

③濤釣沼の東側を流れる宇遠別川の水位を堰により高く保持することで濤釣沼の水位が上昇することが水収支モデルにより算定され、この手法が濤釣沼の水位保持に対して有効な手法の一つであることが確認された。

また本報告の追録である簡易貫入試験、採泥試験の結果については当所河海工研究室中矢研究員らの協力のもと作成したものである。

参考文献

- 1) 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, (財) 自然保護助成基金 1994-1995, pp.3-14
- 2) 濱田浩正, 今泉真之, 小前隆美 (1997): ラドン濃度を指標とした地下水調査・解析法, 農業工学研究所報告, vol.36, pp.17-50
- 3) 濱田浩正, 岸智, 二平聡 (2001): ラドン・水収支式を用いた小規模ため池での地下水流入・流出の定量解析, 農業土木学会大会講演要旨集, pp.116-117
- 4) 秀島好昭, 澤田則彦 (1992): 流出関数法を用いた農地の時間融雪流出解析—北海道の山岳地の融雪流出に関する研究 (III) —, 農業土木学会論文集, 160号, pp.1-10
- 5) 日野幹雄, 長谷部正彦 (1985): 水文流出解析, 森北出版, pp.192
- 6) 角野康郎, 遊磨正秀 (1995): エコロジーガイド ウェットランドの自然, pp.96-101, 保育社
- 7) 粕淵辰昭, 宮地直道, 神山和則 (1994): 美唄湿原の水環境の特徴と保全, 日本土壌肥科学雑誌, 65巻3号, p.326-333
- 8) 塩沢昌, 粕淵辰昭, 宮地直道, 神山和則 (1995): 一次元定常地下水流動モデルによる美唄湿原の地下水位分布の解析, 農業土木学会論文集, 176号, pp.131-142
- 9) 斜里町 (1970): 斜里町史第二巻, 斜里町, pp.392-1053
- 10) 玉井信行 (1989): 土木工学基礎シリーズ 5-2 水理学 2, 培風館, pp.124
- 11) 坪谷太郎, 高木健太郎, 倉茂好匡, 田瀬則 (1997): サロベツ湿原における泥炭内土壌水分の日変化, 日本陸水学会誌, 第27巻3号, pp.129-141
- 12) 梅田安治, 井上京 (1995): 北海道における泥炭地湿原の保全対策, 農業土木学会誌, 63巻3号, pp.249-254

Water Circulation of Tohtsuruto swamp in the East Part of Hokkaido

TSUCHIHARA Takeo, ISHIDA Satoshi, NIHIRA Satoshi and IMAIZUMI Masayuki

Summary

In this paper, the investigation using radon concentration as an indicator and the simulation based on hydrologic data revealed the water circulation system in Tohtsuruto swamp located in the eastern Hokkaido. Radon-222 is a radioactive gas that is soluble in water. The concentration of radon dissolving in groundwater is extremely more than that in surface water. This character of the solubility enables radon concentration to be an indicator to evaluate the contribution of groundwater in water cycle in Tohtsuruto swamp. The distribution of radon concentration represents the high contribution of groundwater in Tohtsuruto swamp and the ratio of groundwater to the total recharge volume of rivers is calculated at 73.7% by a radon mass-balance equation. The water balance model is introduced, which is based on a tank model to calculate recharges from the river and an exchange model to calculate interchange of water between the Uenbetsu river and the swamp. The results of simulation show that the ratio of groundwater volume to this river volume was 74.7% and the ratio of backyard flow from the drainage river to an annual increase volume of the swamp is 22.7%. The preservation method of water level in Tohtsuruto swamp was proposed on the basis of the high efficiency of backyard flow from Uenbetsu river. It is demonstrated that controlling the water level of Uenbetsu River with floodgate can attain the preservation of wetland environment in Tohtsuruto swamp.

Key words: marshland, groundwater, water balance, Radon-222

Appendix

1 簡易貫入試験及び採泥試験調査方法

湖底堆積物を調査するために行った簡易貫入試験，採泥試験地点を Fig.1 に示す。簡易貫入試験は堆積物の縦横断面を作成するために，簡易貫入試験器を用いて行った。測点は図中の AA', BB'である。採泥については，深度 2m 程度の軟泥の採取はマルチサンプラーを用い，それ以深の採泥はコア採取装置を使用することにより不

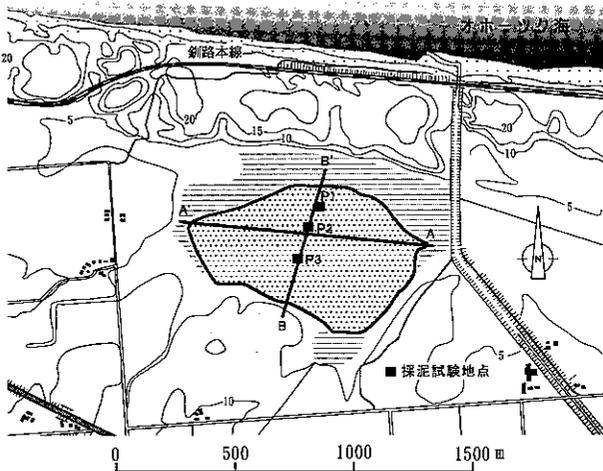


Fig. 1 観測点位置図

Location of observation points

攪乱試料を採取し，底泥中の詳細な鉛直分布を求めた。採泥を行った点は図中の P1 ~ P3 の 3 点である。

2 簡易貫入試験結果

縦断面 AA', 横断面 BB'における 100m 間隔の簡易貫入試験の結果を Table 1, 2, 3 に示す。試験は以下の手順で行う。①ガイドロット単体を地表面に静かに貫入させ貫入深を記録する（表中の錘無しに相当する）。貫入深さは常にノッキングヘッドの下端取り付け部から測定地表面までの長さを測定する。②続いてウェイトをセットし貫入深を記録する。③打撃方法はガイドロット 50cm のところにウェイトの下面が来るように持ち上げ，ガイドロットに沿って自由落下させる。④この操作を繰り返し，コーンが 10cm 貫入するまでウェイトの落下を続け，その時の貫入深さと打撃回数を記録する⑤深さ 5m まで貫入を行うが途中で 10cm 貫入に 20 回程度以上の打撃回数を要する場合は測定を終える。測定後 Nc 値に換算し，各土層の垂直分布状況を把握する。

3 採泥試験結果

採泥は深度 2m まで行った。採泥地点は Fig.1 に示す 3 箇所である。Fig.2 に P1 ~ P3 の採泥したサンプルのスケッチを示す。土色は農林水産省農林水産技術会議事務局監修，標準土色帳により記述した。

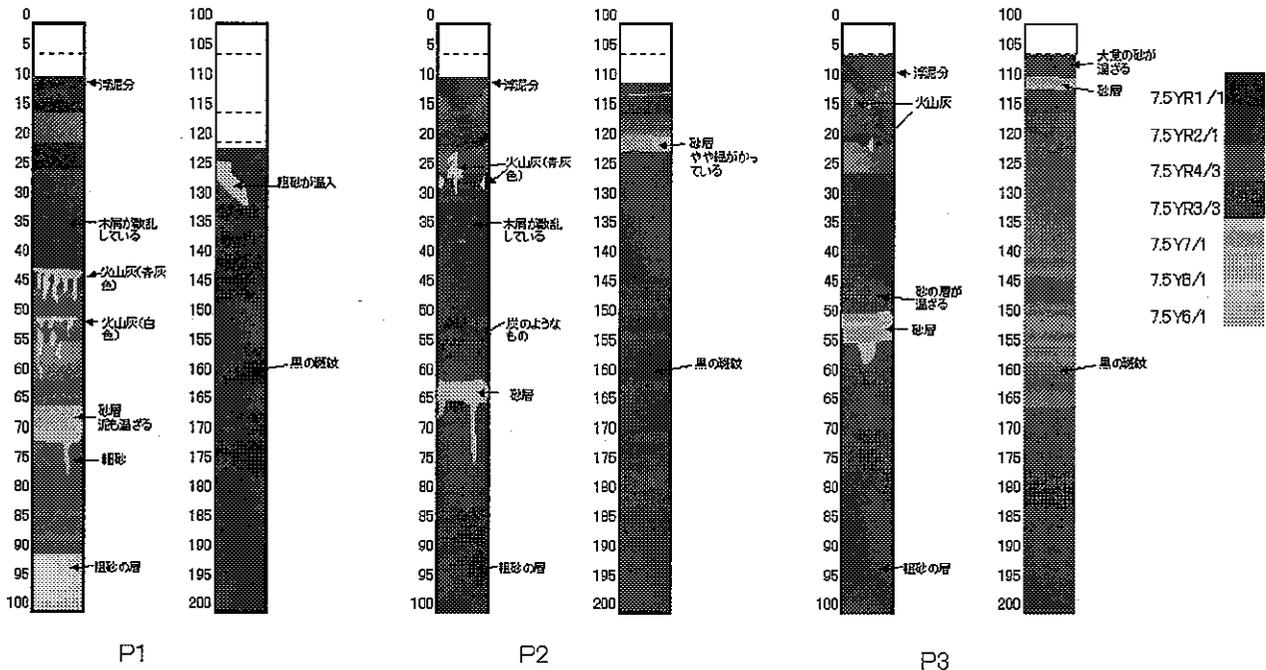


Fig.2 採泥試験結果スケッチ図

Sketch of collecting mud test results

Table 1 AA'断面における貫入試験結果(1)
Results of intrusive examination in AA' section (1)

| 試験地: 清釣沼(AA'断面) 測点No.: 1(400m) 試験年月日: H12.10 | | | | |
|--|---------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------|
| 打撃回数 N(回) | 貫入深さ h(cm) | 貫入深さ (水深補 正) h(cm) | 貫入量 $d=hr-hr-1$ | $N_c=(N/d) \times 10$ |
| 水深 | 47.7 | 0.0 | | |
| 錘無し | 141.0 | 93.3 | | |
| 錘付き | 146.0 | 98.3 | 5.0 | |
| 2 | 150.0 | 102.3 | 4.0 | 5.0 |
| 2 | 200.0 | 152.3 | 50.0 | 0.4 |
| 3 | 245.0 | 197.3 | 45.0 | 0.7 |
| 1 | 250.0 | 202.3 | 5.0 | 2.0 |
| 5 | 285.0 | 237.3 | 35.0 | 1.4 |
| 3 | 300.0 | 252.3 | 15.0 | 2.0 |
| 6 | 330.0 | 282.3 | 30.0 | 2.0 |
| 10 | 365.0 | 317.3 | 35.0 | 2.9 |
| 5 | 375.0 | 327.3 | 10.0 | 5.0 |
| 2 | 380.0 | 332.3 | 5.0 | 4.0 |
| 19 | 400.0 | 352.3 | 20.0 | 9.5 |

| 試験地: 清釣沼(AA'断面) 測点No.: 2(500m) 試験年月日: H12.10 | | | | |
|--|---------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------|
| 打撃回数 N(回) | 貫入深さ h(cm) | 貫入深さ (水深補 正) h(cm) | 貫入量 $d=hr-hr-1$ | $N_c=(N/d) \times 10$ |
| 水深 | 50.0 | 0.0 | | |
| 錘無し | 170.0 | 120.0 | | |
| 錘付き | 185.0 | 135.0 | 15.0 | |
| 3 | 200.0 | 150.0 | 15.0 | 2.0 |
| 1 | 295.0 | 245.0 | 95.0 | 0.1 |
| 1 | 300.0 | 250.0 | 5.0 | 2.0 |
| 錘付き | 330.0 | 280.0 | 30.0 | |
| 2 | 340.0 | 290.0 | 10.0 | 2.0 |
| 3 | 350.0 | 300.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 360.0 | 310.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 370.0 | 320.0 | 10.0 | 3.0 |
| 4 | 380.0 | 330.0 | 10.0 | 4.0 |
| 3 | 390.0 | 340.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 400.0 | 350.0 | 10.0 | 3.0 |
| 4 | 410.0 | 360.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 420.0 | 370.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 430.0 | 380.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 440.0 | 390.0 | 10.0 | 4.0 |
| 5 | 450.0 | 400.0 | 10.0 | 5.0 |
| 5 | 460.0 | 410.0 | 10.0 | 5.0 |
| 7 | 470.0 | 420.0 | 10.0 | 7.0 |
| 7 | 480.0 | 430.0 | 10.0 | 7.0 |
| 5 | 490.0 | 440.0 | 10.0 | 5.0 |
| 5 | 500.0 | 450.0 | 10.0 | 5.0 |

| 試験地: 清釣沼(AA'断面) 測点No.: 3(600m) 試験年月日: H12.10 | | | | |
|--|---------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------|
| 打撃回数 N(回) | 貫入深さ h(cm) | 貫入深さ (水深補 正) h(cm) | 貫入量 $d=hr-hr-1$ | $N_c=(N/d) \times 10$ |
| 水深 | 50.0 | 0.0 | | |
| 錘無し | 169.0 | 119.0 | | |
| 錘付き | 181.0 | 131.0 | 12.0 | |
| 1 | 200.0 | 150.0 | 19.0 | 0.5 |
| 錘無し | 215.0 | 165.0 | 15.0 | |
| 錘付き | 285.0 | 235.0 | 70.0 | |
| 4 | 300.0 | 250.0 | 15.0 | 2.7 |
| 錘無し | 300.0 | 250.0 | 0.0 | |
| 錘付き | 320.0 | 270.0 | 20.0 | |
| 2 | 330.0 | 280.0 | 10.0 | 2.0 |
| 3 | 340.0 | 290.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 350.0 | 300.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 360.0 | 310.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 370.0 | 320.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 380.0 | 330.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 390.0 | 340.0 | 10.0 | 3.0 |
| 4 | 400.0 | 350.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 410.0 | 360.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 420.0 | 370.0 | 10.0 | 4.0 |
| 5 | 430.0 | 380.0 | 10.0 | 5.0 |
| 5 | 440.0 | 390.0 | 10.0 | 5.0 |
| 5 | 450.0 | 400.0 | 10.0 | 5.0 |
| 4 | 460.0 | 410.0 | 10.0 | 4.0 |
| 6 | 470.0 | 420.0 | 10.0 | 6.0 |
| 5 | 480.0 | 430.0 | 10.0 | 5.0 |
| 5 | 490.0 | 440.0 | 10.0 | 5.0 |
| 5 | 500.0 | 450.0 | 10.0 | 5.0 |

| 試験地: 清釣沼(AA'断面) 測点No.: 4(700m) 試験年月日: H12.10 | | | | |
|--|---------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------|
| 打撃回数 N(回) | 貫入深さ h(cm) | 貫入深さ (水深補 正) h(cm) | 貫入量 $d=hr-hr-1$ | $N_c=(N/d) \times 10$ |
| 水深 | 56.5 | 0.0 | | |
| 錘無し | 165.0 | 108.5 | | |
| 錘付き | 167.0 | 110.5 | 2.0 | |
| 1 | 200.0 | 143.5 | 33.0 | 0.3 |
| 錘無し | 224.0 | 167.5 | 24.0 | |
| 錘付き | 300.0 | 243.5 | 76.0 | |
| 錘付き | 315.0 | 258.5 | 15.0 | |
| 2 | 320.0 | 263.5 | 5.0 | 4.0 |
| 3 | 330.0 | 273.5 | 10.0 | 3.0 |
| 2 | 340.0 | 283.5 | 10.0 | 2.0 |
| 3 | 350.0 | 293.5 | 10.0 | 3.0 |
| 2 | 360.0 | 303.5 | 10.0 | 2.0 |
| 3 | 370.0 | 313.5 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 380.0 | 323.5 | 10.0 | 3.0 |
| 2 | 390.0 | 333.5 | 10.0 | 2.0 |
| 3 | 400.0 | 343.5 | 10.0 | 3.0 |
| 4 | 410.0 | 353.5 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 420.0 | 363.5 | 10.0 | 4.0 |
| 2 | 430.0 | 373.5 | 10.0 | 2.0 |
| 2 | 440.0 | 383.5 | 10.0 | 2.0 |
| 4 | 450.0 | 393.5 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 460.0 | 403.5 | 10.0 | 4.0 |
| 5 | 470.0 | 413.5 | 10.0 | 5.0 |
| 5 | 480.0 | 423.5 | 10.0 | 5.0 |

| 試験地: 清釣沼(AA'断面) 測点No.: 5(800m) 試験年月日: H12.10 | | | | |
|--|---------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------|
| 打撃回数 N(回) | 貫入深さ h(cm) | 貫入深さ (水深補 正) h(cm) | 貫入量 $d=hr-hr-1$ | $N_c=(N/d) \times 10$ |
| 水深 | 55.0 | 0.0 | | |
| 錘無し | 158.0 | 103.0 | | |
| 錘付き | 200.0 | 145.0 | 42.0 | |
| 錘無し | 225.0 | 170.0 | 25.0 | |
| 錘付き | 300.0 | 245.0 | 75.0 | |
| 錘付き | 325.0 | 270.0 | 25.0 | |
| 2 | 330.0 | 275.0 | 5.0 | 4.0 |
| 3 | 340.0 | 285.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 350.0 | 295.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 360.0 | 305.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 370.0 | 315.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 380.0 | 325.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 390.0 | 335.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 400.0 | 345.0 | 10.0 | 3.0 |
| 4 | 410.0 | 355.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 420.0 | 365.0 | 10.0 | 4.0 |
| 3 | 430.0 | 375.0 | 10.0 | 3.0 |
| 4 | 440.0 | 385.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 450.0 | 395.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 460.0 | 405.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 470.0 | 415.0 | 10.0 | 4.0 |
| 5 | 480.0 | 425.0 | 10.0 | 5.0 |
| 4 | 490.0 | 435.0 | 10.0 | 4.0 |
| 5 | 500.0 | 445.0 | 10.0 | 5.0 |

| 試験地: 清釣沼(AA'断面) 測点No.: 6(900m) 試験年月日: H12.10 | | | | |
|--|---------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------|
| 打撃回数 N(回) | 貫入深さ h(cm) | 貫入深さ (水深補 正) h(cm) | 貫入量 $d=hr-hr-1$ | $N_c=(N/d) \times 10$ |
| 水深 | 45.0 | 0.0 | | |
| 錘無し | 144.0 | 99.0 | | |
| 錘付き | 150.0 | 105.0 | 6.0 | |
| 2 | 165.0 | 120.0 | 15.0 | 1.3 |
| 錘付き | 200.0 | 155.0 | 35.0 | |
| 錘無し | 210.0 | 165.0 | 10.0 | |
| 錘付き | 262.0 | 217.0 | 52.0 | |
| 2 | 270.0 | 225.0 | 8.0 | 2.5 |
| 2 | 280.0 | 235.0 | 10.0 | 2.0 |
| 3 | 290.0 | 245.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 300.0 | 255.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 310.0 | 265.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 320.0 | 275.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 330.0 | 285.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 340.0 | 295.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 350.0 | 305.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 360.0 | 315.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 370.0 | 325.0 | 10.0 | 3.0 |
| 4 | 380.0 | 335.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 390.0 | 345.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 400.0 | 355.0 | 10.0 | 4.0 |
| 5 | 410.0 | 365.0 | 10.0 | 5.0 |
| 5 | 420.0 | 375.0 | 10.0 | 5.0 |
| 5 | 430.0 | 385.0 | 10.0 | 5.0 |

Table 2 AA'断面における貫入試験結果(2)
Results of intrusive examination in AA' section (2)

| 試験地: 涛釣沼 (AA'断面) 測点No.: 7(1000m) 試験年月日: H12.10 | | | | |
|--|---------------|-------------------------|-----------------------------|------------------|
| 打撃回数 N(回) | 貫入深さ h(cm) | 貫入深さ (水深補正) h(cm) | 貫入量 d=hr-hr ₁ | Nc=(N/d) × 10 |
| 水深 | 43.0 | 0.0 | | |
| 錘無し | 142.0 | 99.0 | | |
| 錘付き | 155.6 | 112.6 | 13.6 | |
| 2 | 160.0 | 117.0 | 4.4 | 4.5 |
| 1 | 170.0 | 127.0 | 10.0 | 1.0 |
| 錘無し | 210.0 | 167.0 | 40.0 | |
| 錘付き | 248.0 | 205.0 | 38.0 | |
| 1 | 250.0 | 207.0 | 2.0 | 5.0 |
| 2 | 260.0 | 217.0 | 10.0 | 2.0 |
| 2 | 270.0 | 227.0 | 10.0 | 2.0 |
| 3 | 280.0 | 237.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 290.0 | 247.0 | 10.0 | 3.0 |
| 2 | 300.0 | 257.0 | 10.0 | 2.0 |
| 3 | 310.0 | 267.0 | 10.0 | 3.0 |
| 4 | 320.0 | 277.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 330.0 | 287.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 340.0 | 297.0 | 10.0 | 4.0 |
| 3 | 350.0 | 307.0 | 10.0 | 3.0 |
| 4 | 360.0 | 317.0 | 10.0 | 4.0 |
| 5 | 370.0 | 327.0 | 10.0 | 5.0 |
| 4 | 380.0 | 337.0 | 10.0 | 4.0 |
| 5 | 390.0 | 347.0 | 10.0 | 5.0 |
| 5 | 400.0 | 357.0 | 10.0 | 5.0 |
| 6 | 410.0 | 367.0 | 10.0 | 6.0 |
| 6 | 420.0 | 377.0 | 10.0 | 6.0 |
| 6 | 430.0 | 387.0 | 10.0 | 6.0 |
| 7 | 440.0 | 397.0 | 10.0 | 7.0 |
| 8 | 450.0 | 407.0 | 10.0 | 8.0 |
| 7 | 460.0 | 417.0 | 10.0 | 7.0 |
| 7 | 470.0 | 427.0 | 10.0 | 7.0 |
| 8 | 480.0 | 437.0 | 10.0 | 8.0 |
| 8 | 490.0 | 447.0 | 10.0 | 8.0 |
| 7 | 500.0 | 457.0 | 10.0 | 7.0 |

| 試験地: 涛釣沼 (AA'断面) 測点No.: 8(1100m) 試験年月日: H12.10 | | | | |
|--|---------------|-------------------------|-----------------------------|------------------|
| 打撃回数 N(回) | 貫入深さ h(cm) | 貫入深さ (水深補正) h(cm) | 貫入量 d=hr-hr ₁ | Nc=(N/d) × 10 |
| 水深 | 43.0 | 0.0 | | |
| 錘無し | 124.0 | 81.0 | | |
| 錘付き | 168.0 | 125.0 | 44.0 | |
| 1 | 170.0 | 127.0 | 2.0 | 5.0 |
| 2 | 180.0 | 137.0 | 10.0 | 2.0 |
| 錘無し | 200.0 | 157.0 | 20.0 | |
| 錘付き | 206.0 | 163.0 | 6.0 | |
| 錘付き | 260.0 | 217.0 | 54.0 | |
| 3 | 270.0 | 227.0 | 10.0 | 3.0 |
| 4 | 280.0 | 237.0 | 10.0 | 4.0 |
| 3 | 290.0 | 247.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 300.0 | 257.0 | 10.0 | 3.0 |
| 4 | 310.0 | 267.0 | 10.0 | 4.0 |
| 3 | 320.0 | 277.0 | 10.0 | 3.0 |
| 4 | 330.0 | 287.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 340.0 | 297.0 | 10.0 | 4.0 |
| 5 | 350.0 | 307.0 | 10.0 | 5.0 |
| 4 | 360.0 | 317.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 370.0 | 327.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 380.0 | 337.0 | 10.0 | 4.0 |
| 5 | 390.0 | 347.0 | 10.0 | 5.0 |
| 5 | 400.0 | 357.0 | 10.0 | 5.0 |
| 6 | 410.0 | 367.0 | 10.0 | 6.0 |
| 6 | 420.0 | 377.0 | 10.0 | 6.0 |
| 6 | 430.0 | 387.0 | 10.0 | 6.0 |
| 6 | 440.0 | 397.0 | 10.0 | 6.0 |
| 6 | 450.0 | 407.0 | 10.0 | 6.0 |
| 8 | 460.0 | 417.0 | 10.0 | 8.0 |
| 7 | 470.0 | 427.0 | 10.0 | 7.0 |
| 7 | 480.0 | 437.0 | 10.0 | 7.0 |
| 8 | 490.0 | 447.0 | 10.0 | 8.0 |
| 8 | 500.0 | 457.0 | 10.0 | 8.0 |

| 試験地: 涛釣沼 (AA'断面) 測点No.: 9(1200) 試験年月日: H12.10 | | | | |
|---|---------------|-------------------------|-----------------------------|------------------|
| 打撃回数 N(回) | 貫入深さ h(cm) | 貫入深さ (水深補正) h(cm) | 貫入量 d=hr-hr ₁ | Nc=(N/d) × 10 |
| 水深 | 41.0 | 0.0 | | |
| 錘無し | 124.0 | 83.0 | | |
| 錘付き | 162.0 | 121.0 | 38.0 | |
| 3 | 170.0 | 129.0 | 8.0 | 3.8 |
| 1 | 175.0 | 134.0 | 5.0 | 2.0 |
| 錘付き | 200.0 | 159.0 | 25.0 | |
| 錘付き | 250.0 | 209.0 | 50.0 | |
| 3 | 260.0 | 219.0 | 10.0 | 3.0 |
| 2 | 270.0 | 229.0 | 10.0 | 2.0 |
| 3 | 280.0 | 239.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 290.0 | 249.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 300.0 | 259.0 | 10.0 | 3.0 |
| 2 | 310.0 | 269.0 | 10.0 | 2.0 |
| 4 | 320.0 | 279.0 | 10.0 | 4.0 |
| 3 | 330.0 | 289.0 | 10.0 | 3.0 |
| 4 | 340.0 | 299.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 350.0 | 309.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 360.0 | 319.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 370.0 | 329.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 380.0 | 339.0 | 10.0 | 4.0 |
| 5 | 390.0 | 349.0 | 10.0 | 5.0 |
| 5 | 400.0 | 359.0 | 10.0 | 5.0 |
| 5 | 410.0 | 369.0 | 10.0 | 5.0 |
| 6 | 420.0 | 379.0 | 10.0 | 6.0 |
| 6 | 430.0 | 389.0 | 10.0 | 6.0 |
| 6 | 440.0 | 399.0 | 10.0 | 6.0 |
| 6 | 450.0 | 409.0 | 10.0 | 6.0 |
| 6 | 460.0 | 419.0 | 10.0 | 6.0 |
| 6 | 470.0 | 429.0 | 10.0 | 6.0 |
| 7 | 480.0 | 439.0 | 10.0 | 7.0 |
| 7 | 490.0 | 449.0 | 10.0 | 7.0 |
| 6 | 500.0 | 459.0 | 10.0 | 6.0 |

| 試験地: 涛釣沼 (AA'断面) 測点No.: 10(1300m) 試験年月日: H12.7/8 | | | | |
|--|---------------|-------------------------|-----------------------------|------------------|
| 打撃回数 N(回) | 貫入深さ h(cm) | 貫入深さ (水深補正) h(cm) | 貫入量 d=hr-hr ₁ | Nc=(N/d) × 10 |
| 0(水深) | 35.0 | 0.0 | | |
| 0.1(錘無し) | 121.0 | 86.0 | | |
| 0.2(錘付き) | 126.0 | 91.0 | 5.0 | |
| 2 | 130.0 | 95.0 | 4.0 | 5.0 |
| 0.1(錘無し) | 200.0 | 165.0 | 70.0 | |
| 0.2(錘付き) | 266.0 | 231.0 | 66.0 | |
| 1 | 270.0 | 235.0 | 4.0 | 2.5 |
| 3 | 280.0 | 245.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 290.0 | 255.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 300.0 | 265.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 310.0 | 275.0 | 10.0 | 3.0 |
| 4 | 320.0 | 285.0 | 10.0 | 4.0 |
| 3 | 330.0 | 295.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 340.0 | 305.0 | 10.0 | 3.0 |
| 4 | 350.0 | 315.0 | 10.0 | 4.0 |
| 3 | 360.0 | 325.0 | 10.0 | 3.0 |
| 4 | 370.0 | 335.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 380.0 | 345.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 390.0 | 355.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 400.0 | 365.0 | 10.0 | 4.0 |
| 5 | 410.0 | 375.0 | 10.0 | 5.0 |

Table 3 BB'断面における貫入試験結果
Results of intrusive examination in BB' section

| 試験地: 湊釣沼 (BB'断面) 測点No.: 5-1(800m山側) 試験年月日: H12.10 | | | | |
|---|------------|-------------------|---------------------|-----------------------|
| 打撃回数 N (回) | 貫入深さ h(cm) | 貫入深さ (水深補正) h(cm) | 貫入量 $d=h_n-h_{n-1}$ | $N_c=(N/d) \times 10$ |
| 水深 | 41.0 | 0.0 | | |
| 錘無し | 133.0 | 92.0 | | |
| 錘付き | 133.0 | 92.0 | 0.0 | |
| 1 | 135.0 | 94.0 | 2.0 | 5.0 |
| 錘無し | 200.0 | 159.0 | 65.0 | |
| 錘無し | 210.0 | 169.0 | 10.0 | |
| 錘付き | 263.0 | 222.0 | 53.0 | |
| 2 | 270.0 | 229.0 | 7.0 | 2.9 |
| 2 | 280.0 | 239.0 | 10.0 | 2.0 |
| 3 | 290.0 | 249.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 300.0 | 259.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 310.0 | 269.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 320.0 | 279.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 330.0 | 289.0 | 10.0 | 3.0 |
| 4 | 340.0 | 299.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 350.0 | 309.0 | 10.0 | 4.0 |
| 5 | 360.0 | 319.0 | 10.0 | 5.0 |
| 4 | 370.0 | 329.0 | 10.0 | 4.0 |
| 5 | 380.0 | 339.0 | 10.0 | 5.0 |
| 5 | 390.0 | 349.0 | 10.0 | 5.0 |
| 6 | 400.0 | 359.0 | 10.0 | 6.0 |
| 6 | 410.0 | 369.0 | 10.0 | 6.0 |
| 6 | 420.0 | 379.0 | 10.0 | 6.0 |
| 7 | 430.0 | 389.0 | 10.0 | 7.0 |
| 7 | 440.0 | 399.0 | 10.0 | 7.0 |
| 8 | 450.0 | 409.0 | 10.0 | 8.0 |
| 8 | 460.0 | 419.0 | 10.0 | 8.0 |
| 8 | 470.0 | 429.0 | 10.0 | 8.0 |
| 8 | 480.0 | 439.0 | 10.0 | 8.0 |
| 8 | 490.0 | 449.0 | 10.0 | 8.0 |
| 9 | 500.0 | 459.0 | 10.0 | 9.0 |

| 試験地: 湊釣沼 (BB'断面) 測点No.: 5-2(800m山側) 試験年月日: H12.10 | | | | |
|---|------------|-------------------|---------------------|-----------------------|
| 打撃回数 N (回) | 貫入深さ h(cm) | 貫入深さ (水深補正) h(cm) | 貫入量 $d=h_n-h_{n-1}$ | $N_c=(N/d) \times 10$ |
| 水深 | 47.0 | 0.0 | | |
| 錘無し | 145.0 | 98.0 | | |
| 錘付き | 145.0 | 98.0 | 0.0 | |
| 2 | 150.0 | 103.0 | 5.0 | 4.0 |
| 0 | 200.0 | 153.0 | 50.0 | |
| 錘無し | 225.0 | 178.0 | 25.0 | |
| 錘付き | 290.0 | 243.0 | 65.0 | |
| 3 | 300.0 | 253.0 | 10.0 | 3.0 |
| 2 | 310.0 | 263.0 | 10.0 | 2.0 |
| 2 | 320.0 | 273.0 | 10.0 | 2.0 |
| 3 | 330.0 | 283.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 340.0 | 293.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 350.0 | 303.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 360.0 | 313.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 370.0 | 323.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 380.0 | 333.0 | 10.0 | 3.0 |
| 4 | 390.0 | 343.0 | 10.0 | 4.0 |
| 3 | 400.0 | 353.0 | 10.0 | 3.0 |
| 3 | 410.0 | 363.0 | 10.0 | 3.0 |
| 4 | 420.0 | 373.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 430.0 | 383.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 440.0 | 393.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 450.0 | 403.0 | 10.0 | 4.0 |
| 4 | 460.0 | 413.0 | 10.0 | 4.0 |
| 5 | 470.0 | 423.0 | 10.0 | 5.0 |
| 5 | 480.0 | 433.0 | 10.0 | 5.0 |
| 4 | 490.0 | 443.0 | 10.0 | 4.0 |
| 5 | 500.0 | 453.0 | 10.0 | 5.0 |

| 試験地: 湊釣沼 (BB'断面) 測点No.: 5-3(800m海側) 試験年月日: H12.10 | | | | |
|---|------------|-------------------|---------------------|-----------------------|
| 打撃回数 N (回) | 貫入深さ h(cm) | 貫入深さ (水深補正) h(cm) | 貫入量 $d=h_n-h_{n-1}$ | $N_c=(N/d) \times 10$ |
| 水深 | 49.0 | 0.0 | | |
| 錘無し | 140.0 | 91.0 | | |
| 錘付き | 200.0 | 151.0 | 60.0 | |
| 錘無し | 225.0 | 176.0 | 25.0 | |
| 錘付き | 300.0 | 251.0 | 75.0 | |
| 錘付き | 370.0 | 321.0 | 70.0 | |
| 4 | 380.0 | 331.0 | 10.0 | 4.0 |
| 3 | 390.0 | 341.0 | 10.0 | 3.0 |
| 16 | 400.0 | 351.0 | 10.0 | 16.0 |
| 7 | 405.0 | 356.0 | 5.0 | 14.0 |
| 6 | 410.0 | 361.0 | 5.0 | 12.0 |
| 5 | 415.0 | 366.0 | 5.0 | 10.0 |
| 3 | 420.0 | 371.0 | 5.0 | 6.0 |
| 6 | 430.0 | 381.0 | 10.0 | 6.0 |
| 5 | 440.0 | 391.0 | 10.0 | 5.0 |
| 7 | 450.0 | 401.0 | 10.0 | 7.0 |
| 12 | 460.0 | 411.0 | 10.0 | 12.0 |
| 14 | 470.0 | 421.0 | 10.0 | 14.0 |
| 20 | 480.0 | 431.0 | 10.0 | 20.0 |

| 試験地: 湊釣沼 (BB'断面) 測点No.: 5-4(800m海側) 試験年月日: H12.7/8 | | | | |
|--|------------|-------------------|---------------------|-----------------------|
| 打撃回数 N (回) | 貫入深さ h(cm) | 貫入深さ (水深補正) h(cm) | 貫入量 $d=h_n-h_{n-1}$ | $N_c=(N/d) \times 10$ |
| 水深 | 42.0 | 0.0 | | |
| 錘無し | 128.0 | 86.0 | | |
| 錘付き | 130.0 | 88.0 | 2.0 | |
| 1 | 135.0 | 93.0 | 5.0 | 2.0 |
| 錘付き | 200.0 | 158.0 | 65.0 | |
| 錘付き | 300.0 | 258.0 | 100.0 | |
| 錘付き | 320.0 | 278.0 | 20.0 | |
| 8 | 330.0 | 288.0 | 10.0 | 8.0 |
| 12 | 340.0 | 298.0 | 10.0 | 12.0 |
| 18 | 350.0 | 308.0 | 10.0 | 18.0 |
| 30 | 360.0 | 318.0 | 10.0 | 30.0 |