

## 十勝川水系におけるサケ・サクラマスの産卵環境評価 (資料)

卜部浩一<sup>\*1</sup>, 三島啓雄<sup>2</sup>, 宮腰靖之<sup>1</sup>

<sup>1</sup>北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場,

<sup>2</sup>北海道大学大学院農学研究院

Evaluation of spawning habitat for chum and masu salmon in Tokachi River basin (Note)

HIROKAZU URABE\*, YOSHIO MISHIMA<sup>2</sup> AND YASUYUKI MIYAKOSHI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hokkaido Research Organization, Salmon and Freshwater Fisheries Institute, *Eniwa, Hokkaido, 061-1433,*

<sup>2</sup>Hokkaido University, Graduate School of Agriculture, Sapporo, Hokkaido, *060-8589, Japan*

キーワード: 河道地形, 工作物, サクラマス, サケ, 産卵環境, 浸透流, 遡上障害, 十勝川

十勝川では、縄文期である1万4000年前からサケ・マスが利用されており (Craig *et al.*, 2013), 本格的なサケ・マス漁業が行われた開拓期以降は十勝・釧路地区のサケ・マス漁業に重要な増殖河川として位置づけられてきた。漁獲量についてみると、明治24年 (1891年) には、まだ人工孵化放流が行われておらず、また、現在と比較すると非常に効率の悪い漁法が用いられていた当時においてさえ、十勝川水系内で35万尾以上のサケ (*Oncorhynchus keta*) が漁獲されたという記録が残されている (北海道さけ・ますふ化放流事業百年史編さん委員会, 1988)。大正期の記録によると、本流中流部に加え、支流の芽室川, 然別川, 音更川, 帯広川, 札内川, メム川, 途別川において、合計20箇所以上で捕獲が行われていた (北海道さけ・ますふ化放流事業百年史編さん委員会, 1988)。これらの記録を総合すると、十勝川水系の中流域まで大量のサケが遡上し自然再生産していたこと、また、その資源の維持、増殖に古くから積極的に取り組まれてきたことがうかがわれる。

しかしながら、高度成長期における水質汚濁の急激な進行や防災事業に伴う河道の直線化や横断工作物の設置により、1950年代以降自然再生産資源を中心とするサケ資源増殖の取り組みは多くの制約を受けるようになった。ちょうどこの頃、人工孵化放流技術の飛躍的な向上が進み、高い放流効果が得られるようになってきたことから (埴山ら, 1978; 小林, 2009), サケ資源の維持、増殖は人工孵化放流を中心に進められるようになった。効率的な人工孵化放流体制の確立が進むと、自然再生産資源の減少や消失は、それまでほどには顧みられなくなり、代わりに本流

中下流部に位置する千代田堰堤および支流猿別川下流の捕獲施設で遡上親魚の大半を捕獲、採卵し、人工孵化放流を用いることにより、中流域での自然再生産資源の消失分を補うという方法が採用されてきた。

このような背景により、現在の十勝川水系におけるサケ資源の人工増殖が行われてきた。しかし、1997年には河川法の改正が契機となり河川生態系に配慮した河川整備が行われるようになるとともに、2003年に施行された自然再生産法に基づき、標津川や釧路川水系において河川生態系を復元するための事業も行われるようになると、多くの関係機関や市民がサケの自然繁殖に関心を寄せるようになった。また、近年では、持続可能な食料生産に対する世界的なニーズの高まりを受け、エコラベル認証を受けた水産物の価値が向上する中、サケ漁業や資源増殖に携わる関係者らの間でもエコラベル認証取得に対する関心が強まり、自然再生産サケ資源とその生息環境の保全と回復への関心が急速に高まっている。このような水産サイドからの河川生態系保全へのニーズはますます高まることが予想され、今後、十勝川水系の河川管理を進める上での重要なポイントになり得るであろう。

自然再生産サケ資源の保全には河口から産卵域におよぶ河川の連続性の保持、回復はもちろんのこと、遡上区間内における産卵に適した環境の保全、復元が必要とされる。一般にサケの産卵場所選択には水深、流速、河床材料組成が関与することが知られていることから (Bjornn and Reiser, 1991), サケの自然再生産にはそれらの環境要素が良好な状態に維持されている必要がある。また、サケでは

初秋に産卵する群（前期群）と晩秋に産卵する群（後期群）との間では産卵場所として利用する水温が異なり、前者は河川表流水の浸透が卓越し、冬季には0°C近くまで水温が低下する場所を、後者は地下水の湧出が卓越し冬季も比較的高い水温が保たれる場所を選択的に利用していることが明らかにされている（鈴木, 2008）。河床間隙水の温度は表流水と地下水との相互作用によって決定され（White, 1993）、両者の相互作用には河道地形が影響することが知られていることから（Leman, 1993 ; Geiger and Dauble, 1998）、多様な自然産卵サケ個体群を保全するには河道地形も考慮した河川管理が必要とされる。

以上のことを背景とし、本研究では十勝川水系にサケの自然産卵可能な場所がどの程度あるのか、また、どこで消失しているのかを特定し、自然再生産サケ資源の保全に必要な情報を収集することを第一の目的としている。なお、十勝地域において、漁業資源としてのニーズはサケほど高くないが、漁獲対象とされているサクラマス（*Oncorhynchus masou*）もこの調査対象としている。また、自然再生産サケ資源の保全には、河川の連続性の維持、回復にとどまらず、河床間隙水の温度特性に影響を与えると考えられる河道内の地形要素（砂礫堆）の保全という観点も不可欠であることから、砂礫堆と河床間隙水の性質およびサケの産卵場所選択との関係について明らかにすることを第二の目的としている。

## 試料および方法

**サケ、サクラマスの産卵可能域の推定** 本調査は、北海道立総合研究機構環境科学研究センターと共同で構築した河川工作物情報データベースを用いてGIS解析を行い、サケ、サクラマスの遡上可能範囲を特定する調査および目視による遡上状況確認と再生産環境評価に関する調査の2項目からなる。

**1. GIS解析による遡上可能範囲の評価** 十勝川水系における工作物位置情報を収集し、潜在的なサケまたはサクラマスの産卵場所の下流に工作物がある場合、産卵遡上はその工作物によって阻害され上流への遡上は不可能と判定した。潜在的産卵場所の分布上限域（産卵遡上限界）については次のように推定した。サケについては1934年に清水町御影で報告された捕獲記録が最上流に当たり（北海道さけ・ますふ化放流事業百年史編さん委員会, 1988）、その地点の標高が99mであることから、標高100m以下の河川区間を潜在的なサケの産卵場所として定義した。サクラマスについては、1984年に行われた佐幌川での調査結果によると、標高約170m地点でサクラマス稚魚が高密度に生息していることが確認されていることから（川村, 未発表）、

標高200mまで産卵遡上すると仮定した。また、杉若ら（1999）が日本海側の厚田川で行った調査結果では、標高270m付近においても産卵床および稚魚の生息が確認されていることから、標高300mを産卵遡上の限界と仮定した場合の解析も行った。

工作物の位置情報は国土交通省、土地・水資源局、国土調査課のホームページ上からダウンロードしたもの（<http://tochi.mlit.go.jp/tockok/inspect/landclassification/download/index.html>）に、環境科学研究センターと共同で独自に入手した情報を加え解析に使用した。その結果、合計219基（内訳：貯水ダム14基、砂防ダム45基、治山施設160基）の工作物が解析の対象となっている。

**2. 遡上状況確認と再生産環境の評価** 調査に先立ち、水辺の国勢調査や公表済みの資料等に基づき、サケおよびサクラマスの再生産場所として適しているであろうと思われる地点52箇所を選定し（付表）、2011年8月29～31日および同年11月14～15日にかけて現地を目視調査を実施した。目視調査は、河川規模に応じて長さ50-150mの調査区間を設定し、産卵遡上親魚、産卵後の斃死個体、産卵床の有無を確認するとともに、それぞれの調査地点における産卵環境について以下の方法により定性的に評価した。既往の研究成果からサケおよびサクラマスは水深20cm以上、流速0.5m/秒前後（概ね0.3-1.0m/秒程度）であり、かつ中礫が優占する平瀬を産卵場所として選択的に利用することが知られている（Bjornn and Reiser, 1991; 鈴木, 1999 ; 卜部ら, 2004）。産卵に適した環境特性を有する場所の面積が調査区間全体の面積に占める割合を目測により推定し、その値が5%未満の場合は産卵に「不適」、5-10%の場合は「可」、10-25%の場合は「適」、25%以上存在する場合は産卵に「最適」と評価した。なお、流速は瀬付近で発生する水泡が水面上を流下する速度から推定した。

**サケの産卵場所選択と河道地形との関係** 本調査では十勝川水系に遡上する前期群と後期群のサケを対象に産卵環境特性の評価を行う予定であったが、千代田堰堤下流に設定した調査区間でサケの産卵が確認されなかった。このため、調査地を過去に多数の自然産卵が確認されている石狩川水系千歳川支流の漁川（宮腰ら, 2011; 宮腰ら, 2012）の中流に形成された長さ約101mの砂礫堆周辺（北緯42.881039度、東経141.569878度）に変更した。この砂礫堆上には河道から隔離された場所に位置する窪地には河川表流水とは水温や電気伝導率が明らかに異なる水溜まりが確認されており、調査地は湧水が卓越するポテンシャルを有する河川区間であると考えられた。

2011年9月20日から11月17日にかけて、概ね3～4日に1回の頻度で調査区間内を目視調査し、サケの産卵床の形成状

況を確認した結果、9月23日（前期）と11月17日（後期）にサケの産卵床が確認された。11月17日には全ての産卵床内の水温および電気伝導率を計測するとともに、産室付近に自動記録水温計を設置した後埋め戻し、翌年4月11日まで産卵床内の水温変化を観測した。但し、後期群の産卵床のうち調査区間の最下流で確認された2個の産卵床は隣接していたため、そのうちの1個にのみ水温計を設置した。また、砂礫堆の上流部および下流部縁辺部における河床中の水温と電気伝導率も計測し、河床微地形と河床間隙水の性質との関係についても検討した。2012年4月11日には産卵床内に設置した水温計の回収を行い、得られたデータに基づき積算水温を算出し、その時間変化について検討を行った。なお、サケの平均的な産室深さが20cm程度であることが知られていることから（Burner, 1951; Smith, 1973）、産卵床および河床内での水温および電気伝導率の計測ならびに水温計の設置は河床を20cm掘り下げた位置で行っている。

結 果

サケ、サクラマスの産卵可能域の推定

1. GIS解析による遡上可能範囲の評価 サケの遡上可能範囲である標高100m、サクラマスの遡上上限である標高200mおよび300mの等高線を結び、サケおよびサクラマスの潜在的な産卵適地と工作物の位置情報を記載したものを図1に示した。この図を基に、標高100m以下の河川区間のうち遡上が阻害されている区間を図2に、標高200m以下の河川区間のうち遡上阻害が発生している区間を図3に、標高300m以下の河川区間のうち遡上阻害が発生している区間を図4に示した。それぞれの図から読み取れる情報は以下のとおりである。サケおよびサクラマスの産卵域となる標高100mまでの河川区間では、打内川の一部区間および仙美里ダム上流域が遡上障害発生区間として抽出された。サクラマスの遡上上限を標高200mとした場合の解析では、打内川水系の大半、芽室川水系、然別川水系、猿別川水系および利別川水系の一部が遡上障害によりサクラマスの再生産が阻害されている区間として抽出された。さらに、遡上上限を標高300mに拡大すると、

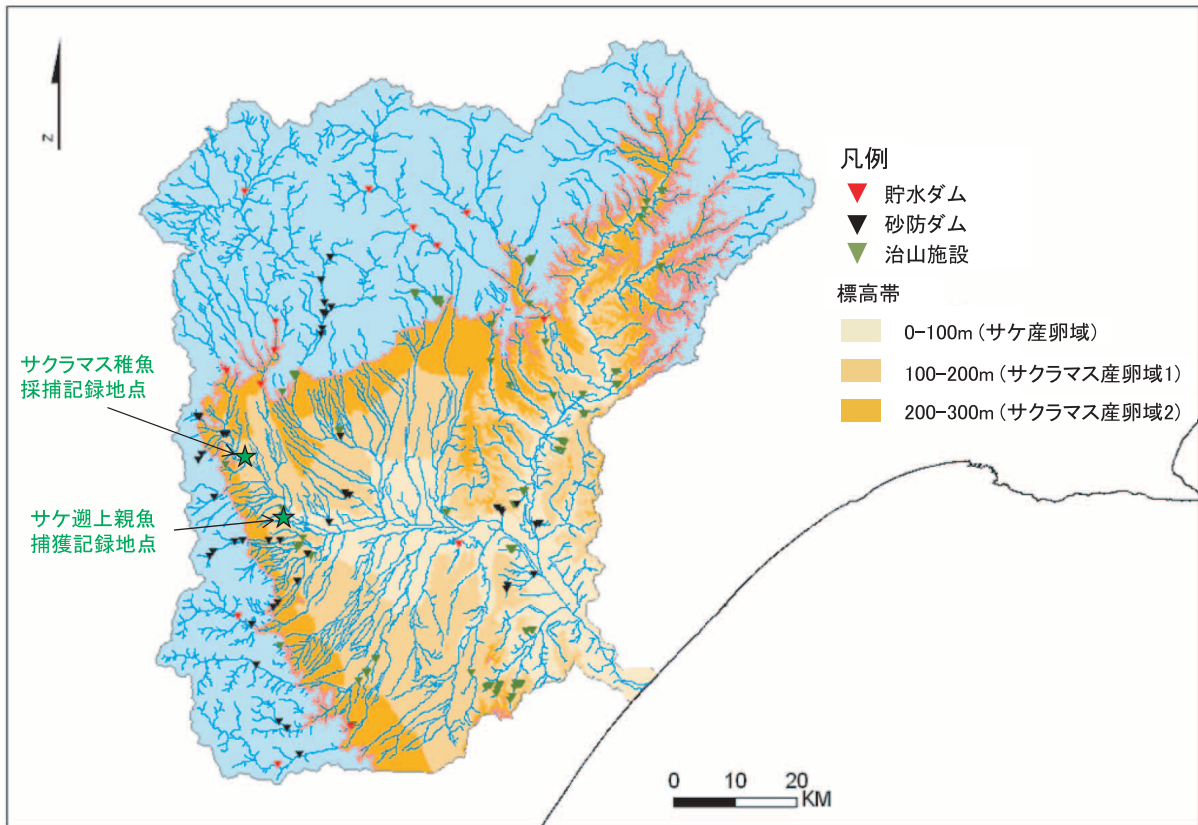


図1 十勝川水系におけるサケおよびサクラマスの潜在的な産卵適地と工作物の位置。赤色、黒色、緑色のシンボルはそれぞれ貯水ダム、砂防ダム、治山施設を示す。乳白色のエリアは標高0-100mでサケの産卵区域を示す。薄い橙色のエリアは標高100-200mで杉若ら（1999）を参考に設定したサクラマスの産卵域を、濃い橙色のエリアは標高200-300mで川村（未発表）を参考に設定したサクラマスの産卵域を示す。詳細は本文を参照のこと。



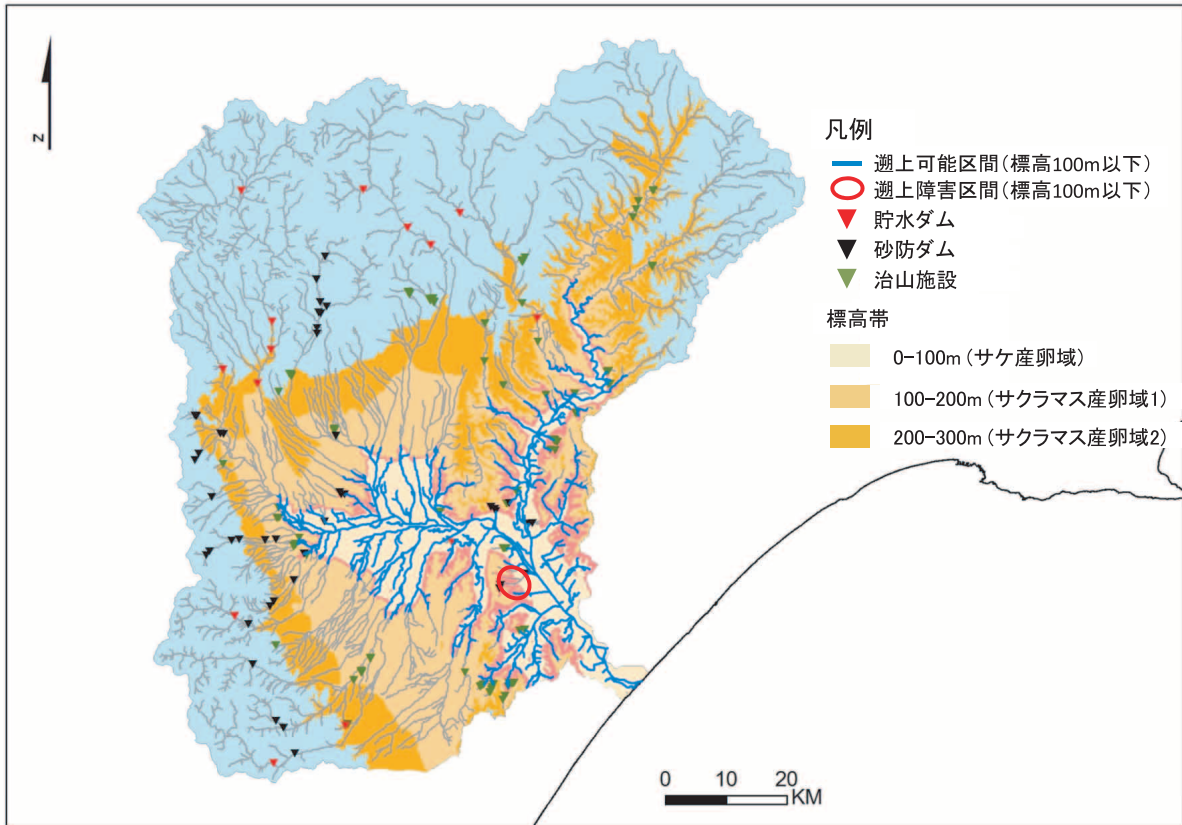


図2 標高100m以下の河川区間(乳白色のエリア)のうち, 工作物により遡上障害が生じている河川区間を抽出した結果。乳白色の範囲を流れる河川区間のうち, 遡上障害が生じている区間を灰色の線で表示し, 赤線で囲んでいる。

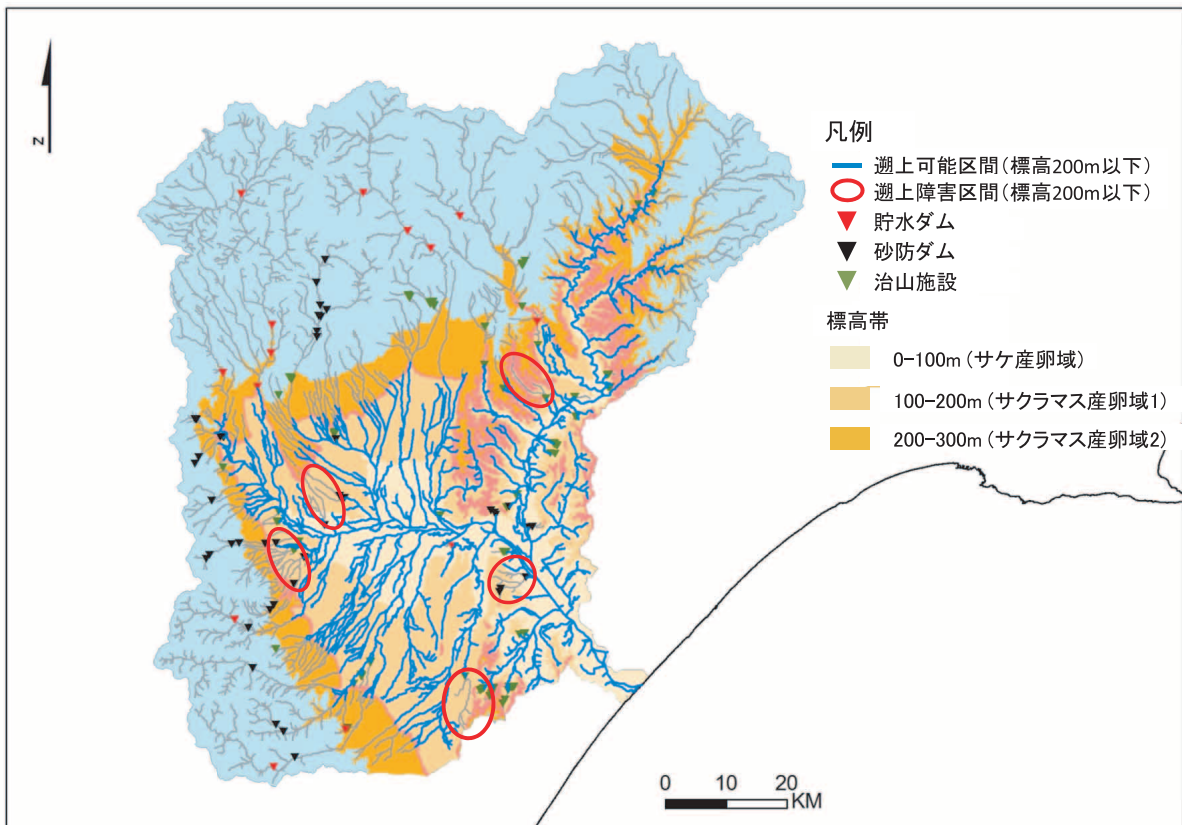


図3 標高100m以上, 200m以下の河川区間(薄い橙色のエリア)のうち, 工作物により遡上障害が生じている河川区間を抽出した結果。乳白色の範囲を流れる河川区間のうち, 遡上障害が生じている区間を灰色の線で表示し, 赤線で囲んでいる。

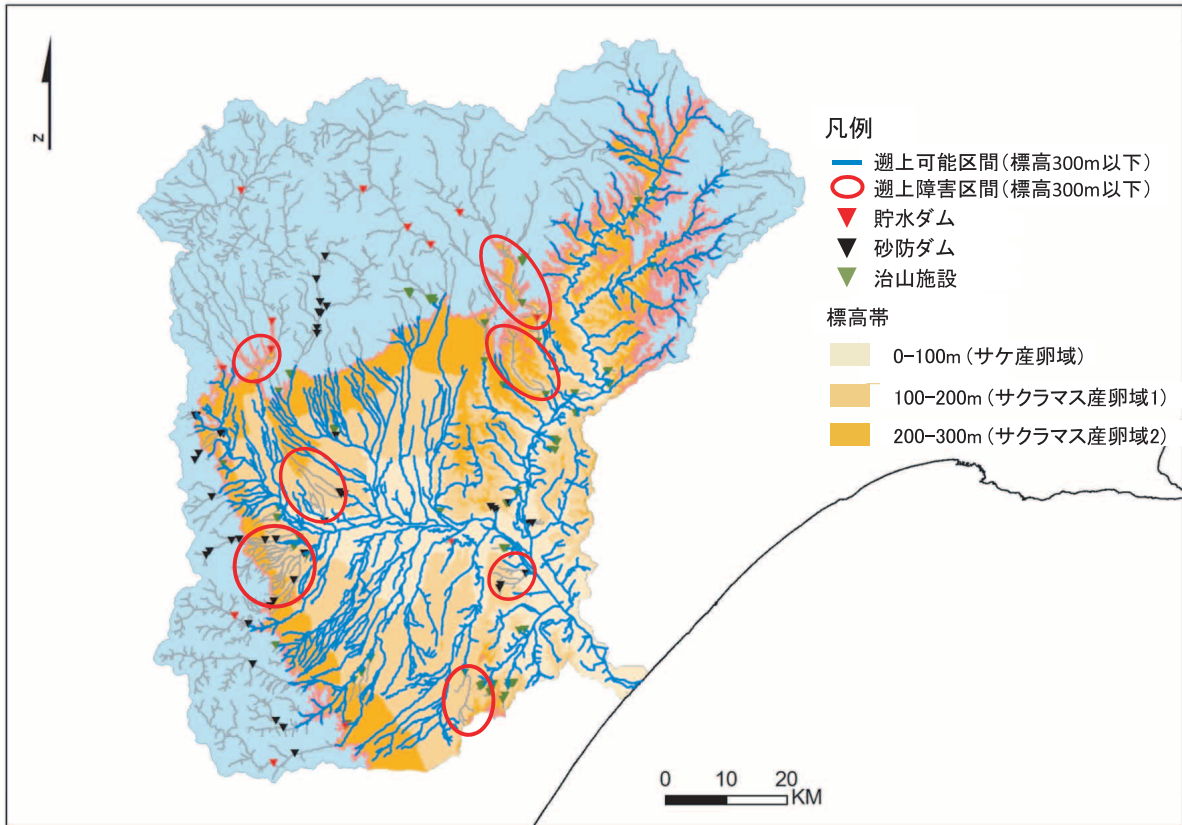


図4 標高200m以上、300m以下の河川区間（薄い橙色のエリア）のうち、工作物により遡上阻害が生じている河川区間を抽出した結果。乳白色の範囲を流れる河川区間のうち、遡上障害が生じている区間を灰色の線で表示し、赤線で囲んでいる。

利別川水系の支流と本流の上流部にも新たに遡上障害区間が発生した。

2. 現地調査による再生産環境の評価 52の調査地点のうち、サケの遡上が確認された地点は十勝川本流の千代田堰堤下流および猿別川下流の合計2地点、サクラマスについては利別川支流居辺川上流の1地点のみで確認された（付表）。産卵環境についてみると、52地点のうち産卵可能と

判定された地点が45地点にのぼり（調査地全体の86.5%）、不適と判定された箇所は合計7地点であった（13.5%）。不適と判定された地点のうち利別川支流と芽室川支流で確認された6地点は河床低下に伴い河床が岩盤化した区間であり、残りの1ヶ所は帯広川支流下流域の3面護岸されている区間であり、いずれも水深と流速は好適な範囲内にあるものの、産卵に必要な河床材料が存在しないことが不適と判定された要因である（表1）。

表1 調査地点における産卵環境評価の結果。評価基準については本文を参照のこと。

河川	最適	適	可	不適	総計
十勝川（本流）			3		3
利別川	1	8	11	4	24
猿別川	5	2		1	8
士幌川			1		1
札内川		3	1		4
帯広川			2	1	3
音更川	3	3			6
然別川	1	1			2
芽室川				1	1
合計	10	17	18	7	52

サケの産卵場所選択と河道地形との関係 調査期間中に千歳川水系漁川で発見されたサケの産卵床は2011年9月23日に2床、11月17日に3床が確認され、9月に形成された産卵床（以下、前期群産卵床）は砂礫堆の上流部分に、11月に形成された産卵床（以下、後期群産卵床）は砂礫堆の下流部に位置した（図5）。産卵床内の水温および電気伝導率を前期群と後期群で比較すると、前期群産卵床は後期群に比べて水温、電気伝導率ともに低く、その値は河川表流水とほぼ一致したが、後期群産卵床は水温、電気伝導率ともに河川表流水と湧水溜まりの中間の値を示した（図6）。砂礫堆の上流部に10地点、下流部に5地点設置した調査地点における河床間隙水温は、砂礫堆上流部では全て河川水

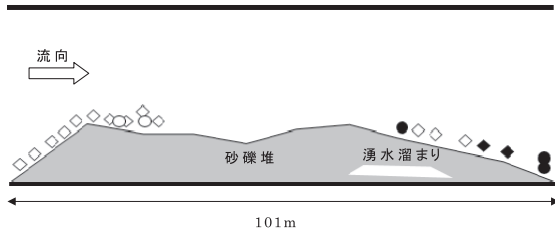


図5 漁川に設定した調査区間の概略および前・後期群のサケ産卵床の分布位置ならびに河床間隙水の特異調査地点。白抜き丸は前期群産卵床、黒塗りの丸は後期群産卵床。菱形は河床間隙水の測定地点を示し、白抜きは河床間隙水の特異(水温、電気伝導率)が前期群産卵床内の水に近かったことを、黒塗りの菱形は後期群産卵床の水に近かったことを示す。詳細は本文および図6を参照のこと。

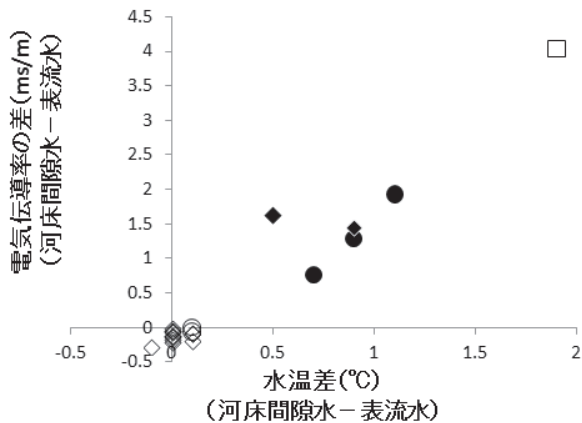


図6 河床間隙水の水温および電気伝導率の特性。縦軸、横軸ともに河床間隙で計測した値から近傍の河川表流水の値を差し引いた値。白抜きの四角は湧水溜まりの水温および電気伝導率の特性を示している。それ以外のシンボルの説明については図5の説明を参照のこと。

と同じかそれよりも若干低い値となっていた。一方、砂礫堆下流部では5地点中2地点で河川水よりも水温、電気伝導率ともに高い値を示した(図5, 図6)。砂礫堆の窪地に形成された湧水溜まりでは水温が7.6°C、電気伝導率は13.02ms/mと、河川水に比べて高い値を示した(図6)。

産卵床および河床内に設置した水温計の記録を見ると、前期群の産卵床内水温は河川表流水温とほぼ一致し、1月下旬には0°C近くまで低下した。一方、後期群の産卵床内水温は最低でも4°Cまでしか下がらず、その変化様式は河川表流水と大きく異なった(図7上段)。この水温記録に基づいて、産卵時期から翌年4月11日までの積算水温を算出したところ、産卵時点で両群の積算水温は541°Cであったが、4月11日には188°Cにまで縮小していた(図7下段)。なお、全ての産卵床内に水温計を設置したのは11月17日であるため、前期群の産卵床については産卵日の9月23日か

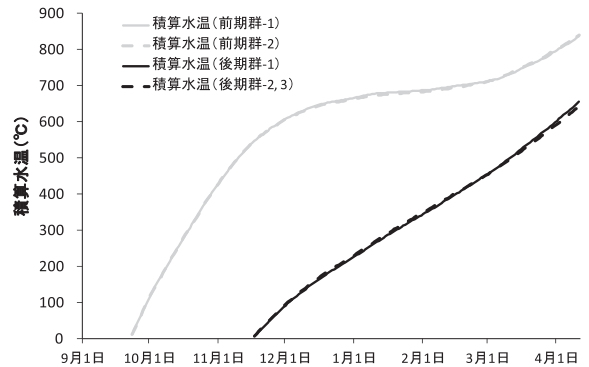
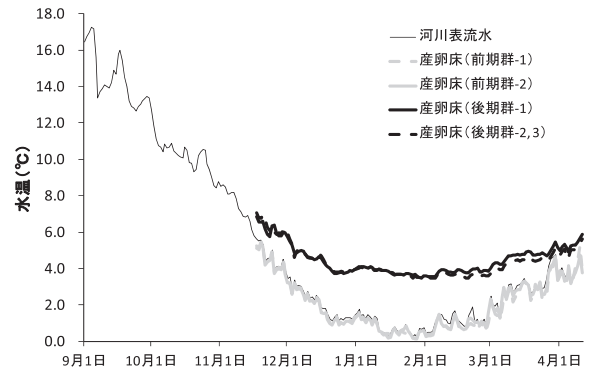


図7 河川表流水と産卵床内の水温変化(上段)および産卵床内の積算水温の変化(下段)。なお、前期群の産卵床が形成された日から水温計を設置するまでの期間の産卵床内水温は河川水温に一致すると仮定している。詳細は本文を参照のこと。

ら11月16日の水温データが欠足していたが、11月17日以降の前期群産卵床の水温変化が河川表流水とほぼ同じ値を示したことから、積算水温を算出する際、欠測期間の産卵床内水温は河川表流水に一致すると仮定している。

### 考察

GIS解析を用いて十勝川水系におけるサケおよびサクラマスの上遊障害区間を評価した結果、サケの産卵域である標高100m以下の河川区間については、打内川の一部と利別川の仙美里ダム上流域に上遊障害区間が認められたが、水系全体でみた場合、ほぼ全域への上遊が可能であると推定された。次にサクラマスについてみると、産卵上流域の限界標高を300mとした時、流域内の多くの支流および本流に上遊障害区間が発生し、その流路延長も相当程度に上ることが示されたことから、該当区間での上遊促進策の検討が必要である。ただし、本解析では魚道の有無を考慮せず、工作物より上流には上遊出来ないと一律に仮定しているため、今回抽出された上遊阻害域を個別に調査した上で、対応方法を検討する必要がある。また、十勝川水系



は本道有数の農業地帯であり、農業用頭首工や用排水路の改修に伴う落差工も支流の中下流域に多数設置されているが、それらの位置情報を入手することができなかったため、農業関連工作物による遡上障害は考慮されていない。このため、本研究で提示した遡上障害区間が過小推定になっていることは明らかである。農業用施設の情報が公表されていないという問題は他の地域でも魚類の遡上環境評価を行う上での障害となっていることから、今後は関係機関の協力を得ながら、農業関連施設の位置情報の取得を行っていく必要がある。

遡上状況の確認調査の結果、十勝川水系におけるサケ、サクラマスの主要な潜在的産卵域と思われる千代田堰堤の上流域において、サケは1尾も確認することができず、サクラマスについては1尾の確認にとどまった。広大な十勝川水系に遡上する親魚を発見するには努力量が小さかったことは否定できないが、十勝川水系におけるサケ資源は基本的に人工孵化放流により維持するという資源管理システムを採用していることを考慮すると、捕獲事業期間中に千代田堰堤より上流に遡上するサケの絶対数はそれほど多くないのかもしれない。サクラマスは同堰堤の捕獲施設が運用されるより前の、春季から夏季にかけてが遡上時期の中心と考えられることから上流域まで遡上している個体も多いと推察されるが、サケと同様に、広大な十勝川水系においてその状況を正確に把握するには、今回の調査規模とは比較にならないほどの大規模な調査が必要と考えられた。

以上のように、十勝川水系におけるサケ、サクラマス親魚の遡上状況に関する情報は殆ど得られなかったものの、サケについては産卵域までの遡上環境は比較的良好な状態で維持されており、産卵に適した河床礫も広く分布していることから、十勝川水系内における自然再生産のポテンシャルは高いと推察された。サクラマスについては、遡上障害の解消が必要な区間が相当程度認められたが、産卵に適した礫も広く分布していること、また水系規模が非常に広大であることから、サケ同様に自然再生産のポテンシャルは高いと推察され、産卵遡上障害の解消が進むことで、個体群の増加が期待される。ただし、一部の支流では河床低下に伴う岩盤化が生じており、今後、その深刻化や同様の問題が他の支流で発生することも懸念される。このため、遡上障害の解消を進めると同時に、河床環境を適切に保全するための配慮も必要であろう。

代替調査地として設定した石狩川水系漁川におけるサケ産卵場所の水温調査の結果から、過去の知見(鈴木, 2008)と同様に前期群と後期群で河床間隙水温に対する選択性が異なることが示唆された。産卵床内の水温の違いは積算水温(発生速度)の差を生むことから(Brannon,

1987; 帰山, 2002)、水温への選択性の違いは産卵期の異なる群の浮上期を生残率の高い時期に同調させる役割を果たしていると考えられている(Godin, 1980; Tallman, 1986; Brannon, 1987; Burgner, 1991)。北海道のサケは幅広い産卵期を持つことが知られているが(大屋, 1954)、稚魚の降海適期は比較的短いと考えられており(佐野・小林, 1952; 宮腰ら, 2007)、産卵時期が異なる群であっても浮上時期は比較的狭い範囲に収斂する必要がある。このため、前期群では冬季に水温が低下する河川浸透流が卓越する場所を、後期群では逆に地下水が卓越し冬季にも高い水温が維持される場所を産卵場所として選択することで、浮上時期を同調させているものと推測される。

河床間隙中における表流水と地下水の相互作用は河道地形の影響を受けることが知られており(White, 1993; Dahm and Vallet, 1996)、一般的には砂礫堆の上流部では河川表流水が浸透する(鉛直方向下向きに移動する)ポテンシャルが高く、逆に下流部では地下水が湧出する(鉛直方向上向きに移動する)ポテンシャルが高い傾向にあることが報告されている(Leman, 1993; White, 1993; Geist and Dauble, 1998)。本調査地でも同様の傾向が確認され、砂礫堆が河床間隙水の動態に影響を与えていることが示唆された。遡上時期や産卵時期の個体群内変異の大きな個体群は個体群全体の水準を高く、安定的に維持することに寄与することが知られていることから(Schindler *et al.*, 2010)、砂礫堆は河床間隙水の特性への影響を介して多様な産卵群の維持に重要な役割を果たしている可能性があると考えられた。但し、本研究の調査対象とした産卵床数は少なく、また、産卵環境特性調査は石狩川水系漁川で実施したことから、追加調査により本考察の検証を行う必要がある。

以上、本調査により、十勝川水系におけるサケ、サクラマスの自然再生産ポテンシャルの高いことが明らかとなり、自然再生産資源の保全、回復に向けた取り組みが期待される。今後、漁業生産の観点からも河川生態系保全の観点からも十勝川水系の自然再生産サケ、サクラマス個体群の保全、管理への関心は高まるものと考えられるが、そのためには河川の連続性の維持、回復への配慮にとどまらず、適切な低水路幅の設定や蛇行流路の維持により、河床環境および河道地形を保全するという観点も不可欠であると推察された。

## 謝 辞

工作物データベースの入手に当たっては北海道環境科学センターの高田雅之博士(現在の所属は法政大学)に便宜を図っていただいた。北海道立総合研究機構さけます・

内水面水産試験場の川村洋司氏からは十勝川水系に生息する魚類やその分布に関する情報を提供いただいた。ここにお礼申し上げる。本研究は平成23年度国土交通省河川砂防技術研究開発公募, 地域課題分野(河川生態)「河川景観ネットワークの連結性と時空間変化—システムの脆弱性と頑強性の解明—」の一部として実施した。

## 引用文献

- Bjornn TC, Reiser DW. Habitat requirements of salmonids in streams. In: Meehan WR (ed). *Influences of forest and rangeland management on salmonid fishes and their habitat*. American Fisheries Society, Special Publication 19, Bethesda, Maryland. 1991; 83- 138.
- Brannon EL. Mechanisms stabilizing salmonids fry emergence timing. Sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) population biology and future management. *Can. Spec. Publ. Fish. and Aquat. Sci.* 1987; 96: 120-124.
- Burgner RL. Life history of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). In: Groot C, Margolis L (eds). *Pacific salmon life histories*, UBC Press, Vancouver. 1991; 1-117.
- Burner CJ. Characteristics of spawning nests of Columbia River salmon. *U.S. Fish and Wildlife Service Fishery Bulletin* 1951; 61:97- 110.
- Craig OE, Saul H, Lucquin A, Nishida Y, Taché K, Clarke L, Thompson A, Altoft DT, Uchiyama J, Ajimoto M, Gibbs K, Isaksson S, Heron CP, Jordan P. Earliest evidence for the use of pottery. *Nature* 2013; 496: 351-354.
- Dahm CN, Vallett HM. Hyporheic zones. In: Hauer FR, Lamberti GA. (eds). *Methods in stream ecology*. Academic Press, San Diego, California. 1996; 107-119. Geist DR, Dauble DD. Redd site selection and spawning habitat use by fall chinook salmon: the importance of geomorphic features in large rivers. *Env. Management* 1998; 655-669.
- Godin, JGJ. Temporal aspects of juvenile pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum) emergence from a simulated gravel red. *Can. J. Zool.* 1980; 58: 735-744.
- 北海道さけ・ますふ化放流事業百年史編さん委員会. 四, 十勝・釧路地方. 「北海道鮭鱒ふ化放流事業百年史(木村錠郎編)」北海道さけ・ますふ化放流百年記念事業協賛会, 札幌. 1988 ; 315-351.
- 帰山雅秀, 佐藤愁一, 小林明弘. 十勝川におけるサケ稚魚の成長と食性に関する調査—I. 稚魚の成長と食性に及ぼす融雪増水の影響. 北海道さけ・ますふ化場研究報告1978 ; 32 : 27-41.
- 帰山雅秀. 2-4サケの発育. 「最新のサケ学」成山堂書店, 東京. 2002 ; 38-45.
- 小林哲夫. サケ・マス資源動態. 「日本サケ・マス増殖史」北海道大学出版会, 札幌. 2009 ; 9-27.
- 国土交通省. 平成14年全国一級河川の水質現況. インターネットウェブよりダウンロード : ([http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha03/05/050708\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha03/05/050708_.html) (2003)) (2013. 5.28)
- Leman VN. Spawning sites of chum salmon, *Oncorhynchus keta*: microhydrological regime and variability of progeny in redds (Kamchatka River basin). *Journal of Ichthyology* 1993; 33: 104-117.
- 宮腰靖之, 永田光博, 齊藤誠一. 衛星リモートセンシングにより観測したオホーツク海東部地区の春季の沿岸水温とサケの回帰率との関係. 北海道水産孵化場研究報告 2007 ; 61 : 1-10.
- 宮腰靖之, 卜部浩一, 安藤大成, 實吉隼人, 青山智哉, 坂本博幸, 春日井潔, 永田光博. 北海道におけるサケ自然産卵個体群の分布(資料). 北海道水産試験場研究報告 2011 ; 80 : 51-64.
- 宮腰靖之, 卜部浩一, 安藤大成. 都市近郊河川で観察されたサケとサクラマスの産卵床密度(短報). 北海道水産試験場研究報告 2012 ; 81 : 141-143.
- 大屋善延. 河川間の鮭遡上形態の類似性について. 水産孵化場試験報告 1954 ; 9 : 113-125.
- 佐野誠三, 小林哲夫. サケ稚魚の生態調査(1) 予報. 水産孵化場試験報告 1952 ; 7 : 1-10.
- Schindler DE, Hilborn R, Chasco B, Boatright CP, Quinn TP, Rogers LA, Webster MS. Population diversity and the portfolio effect in an exploited species. *Nature* 2010; 465: 609-612.
- Smith AK. Development and application of spawning velocity and depth criteria for Oregon salmonids. *Trans. Am. Fish. Soc.* 1973; 102: 312-316.
- 杉若圭一・竹内勝巳・鈴木研一・永田光博・宮本真人・川村洋司. 厚田川におけるサクラマス産卵床の分布と構造. 北海道水産孵化場研究報告 1999 ; 53 : 11-28.
- 鈴木俊哉. 遊楽部川におけるサケの自然産卵環境調査. さけ・ます資源管理センターニュース 1999 ; 4 : 1-4.
- 鈴木俊哉. 自然再生産を利用したサケ資源保全への取り組み. SALMON情報 2008 ; 2 : 3-5.
- Tallman RF. Genetic differentiation among seasonally distinct spawning populations of chum salmon, *Oncorhynchus keta*. *Aquaculture* 1986; 57: 211- 217.
- 卜部浩一, 村上泰啓, 中津川誠. サクラマスの産卵環境



特性の評価. 北海道開発土木研究所月報 2004 ;  
613 : 32-44.

hyporheic zones. *J. North Am. Benthol. Soc.* 1993; 12:  
61-69.

White DS. Perspectives on defining and delineating

**付表** 親魚の遡上状況と産卵環境の現地調査結果および調査地点の位置情報. サケおよびサクラマスの欄には親魚(産卵後の斃死個体含む)または産卵床が確認された場合にY, されなかった場合にはNと記載している.

河川名	調査月日	緯度 (°)	経度 (°)	サケ	サクラマス	産卵環境
利別	2011/8/30	43.02469	143.4192	N	N	可
利別	2011/8/30	43.01868	143.43835	N	N	適
利別	2011/8/30	43.06776	143.46417	N	N	適
利別	2011/8/30	43.09005	143.42001	N	N	適
利別	2011/8/30	43.10212	143.38508	N	N	可
利別	2011/8/30	43.12008	143.37461	N	N	不適
利別	2011/8/30	43.12766	143.36973	N	N	不適
利別	2011/8/30	43.17705	143.36759	N	N	最適
利別	2011/8/30	43.20959	143.37168	N	N	適
利別	2011/8/30	43.10482	143.46126	N	N	可
利別	2011/8/30	43.08056	143.48443	N	N	可
利別	2011/8/30	43.09581	143.50891	N	N	可
利別	2011/8/30	43.10242	143.50067	N	N	適
利別	2011/8/30	43.11372	143.49519	N	N	可
利別	2011/8/30	43.12719	143.4899	N	N	適
利別	2011/8/30	43.12951	143.4717	N	N	可
利別	2011/8/30	43.1666	143.4232	N	N	可
利別	2011/8/30	43.23328	143.47925	N	N	不適
利別	2011/8/30	43.21698	143.48073	N	Y	不適
利別	2011/8/30	43.18467	143.48628	N	N	適
利別	2011/8/30	43.15905	143.53605	N	N	可
利別	2011/8/30	43.18419	143.58528	N	N	可
利別	2011/8/30	43.18516	143.58999	N	N	可
利別	2011/8/30	43.17633	143.58868	N	N	適
帯広	2011/8/29	42.93222	143.22901	N	N	可

付表 つづき

河川名	調査月日	緯度 (°)	経度 (°)	サケ	サクラマス	産卵環境
帯広	2011/8/29	42.93144	143.20764	N	N	可
帯広	2011/8/29	42.92343	143.19078	N	N	不適
十勝	2011/8/29	42.92995	143.32584	N	N	可
十勝	2011/8/29	42.94065	143.34003	Y	N	可
芽室	2011/8/29	42.89405	142.98585	N	N	不適
札内	2011/8/29	42.881	143.17583	N	N	可
札内	2011/8/29	42.93089	143.24261	N	N	適
札内	2011/8/29	42.92534	143.23089	N	N	適
札内	2011/8/29	42.79796	143.15354	N	N	適
音更	2011/8/29	42.99297	143.21326	N	N	最適
猿別	2011/8/31	42.70547	143.21925	N	N	不適
猿別	2011/8/31	42.69899	143.24881	N	N	最適
猿別	2011/8/31	42.69454	143.27648	N	N	最適
猿別	2011/8/31	42.78599	143.32327	N	N	最適
猿別	2011/8/31	42.78316	143.32646	N	N	適
猿別	2011/8/31	42.82568	143.34926	N	N	最適
猿別	2011/8/31	42.87164	143.34029	N	N	最適
猿別	2011/8/30	42.92506	143.36875	Y	N	適
十勝	2011/11/14	42.93147	143.29351	N	N	可
士幌	2011/11/14	42.94677	143.26796	N	N	可
音更	2011/11/15	43.1664	143.21529	N	N	適
音更	2011/11/15	43.16275	143.21576	N	N	適
音更	2011/11/14	43.0435	143.19507	N	N	最適
音更	2011/11/14	43.00847	143.20054	N	N	最適
音更	2011/11/14	42.94761	143.21187	N	N	適
然別	2011/11/14	42.9674	143.14172	N	N	最適
然別	2011/11/14	42.95234	143.14785	N	N	適