

(仮訳)

Key Issues :

- 2 : 流況
- 3 : 魚の回遊・舟運

気候区分 :

Cfb : 西岸海洋性気候

主題 :

- 水力発電と河川生態系を両立させる流況

効果 :

- Ulla-Forre プロジェクトにおける発電電力量の維持と Suldalsl gen川のタイセイヨウサケの持続可能な育成のための河川流況の回復

プロジェクト名 : Ulla-Forre プロジェクト

国名 : ノルウェー

実施機関 / 実施期間 :

- プロジェクト : Statkraft 社
1980 年 -
- Good Practice : Statkraft 社
1990 年 2004 年

キーワード :

河川生態系、タイセイヨウサケ、流量規定、出水、水温

要旨 :

ノルウェーの南西部に位置するSuldalsl gen川で、二つの水力開発が実施されることになった。これらの水力開発による流況の変化により、Suldalsl gen川におけるタイセイヨウサケの数が影響を受けると推定された。工事完了以降、いくつかの緩和策が継続的に実施され評価されてきた。今日、その取り組みは、異なる流況の試験と組み合わせた研究に集中している。その目的は、河川においてサケの再生を押し進め、かつ発電電力量を増加させる流況を見出すことにある。

1. プロジェクトの概要

Suldalsl gen川はノルウェー南西部のRogaland地方に位置しており(図1参照)、Suldalsvatn貯水池に源を発し、ここから22km(落差68m)先のSandsfjordに流れ落ちている。このSuldalsl gen川の集水地域は二つの流量調整プロジェクト、1967年のR IdalSuldalプロジェクト(Hydro社により運用)と1980年のUlla-F rreプロ



Suldalsl gen川



図1 ノルウェー南西部に位置するプロジェクト集水地域

(仮訳)

プロジェクト（Statkraft社により運用）の影響を受けている（図2参照）。

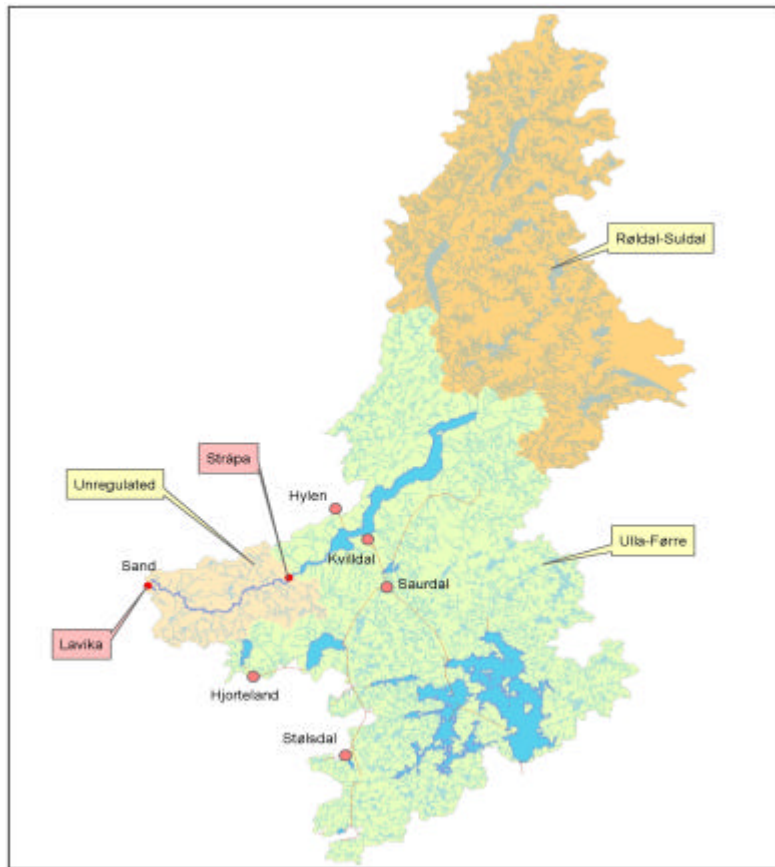


図2 Suldalsvatn川の集水地域はRøldal-SuldalとUlla-Førreプロジェクトの影響を受けている

Ulla-Førreはノルウェーで最大の水力発電所群であり、2,057MWの総容量と4.5TWhの年間平均発電量を有している。その中心となるKviiddal発電所は、1,240MWの容量をもつノルウェー最大の発電所である。発電所群の主要な取水口は標高600mに設けられており、そこには合計で39の河川と小川が集められている。貯水容量はこの取水レベルで制限されており、その水はポンプの組み合わせとSaurdal発電所を通して中心となるBliss貯水池に汲み上げられる。Bliss貯水池は、多くの小さな湖を堰き止めることにより標高1,000mに造り上げられた人工湖である。標高600m地点の取水システムは、530mの落差を有するKviiddal発電所を通じてSuldalsvatn湖に放流する。Bliss貯水池からの水は、先ずSaurdal揚水発電所、その後Kviiddal発電所で利用され、最終的にはSuldalsvatn湖から68mの落差を有するHylen発電所を通じて海水面へ放流される。Ulla-Førreプロジェクトの縦断面図を図3に示す。

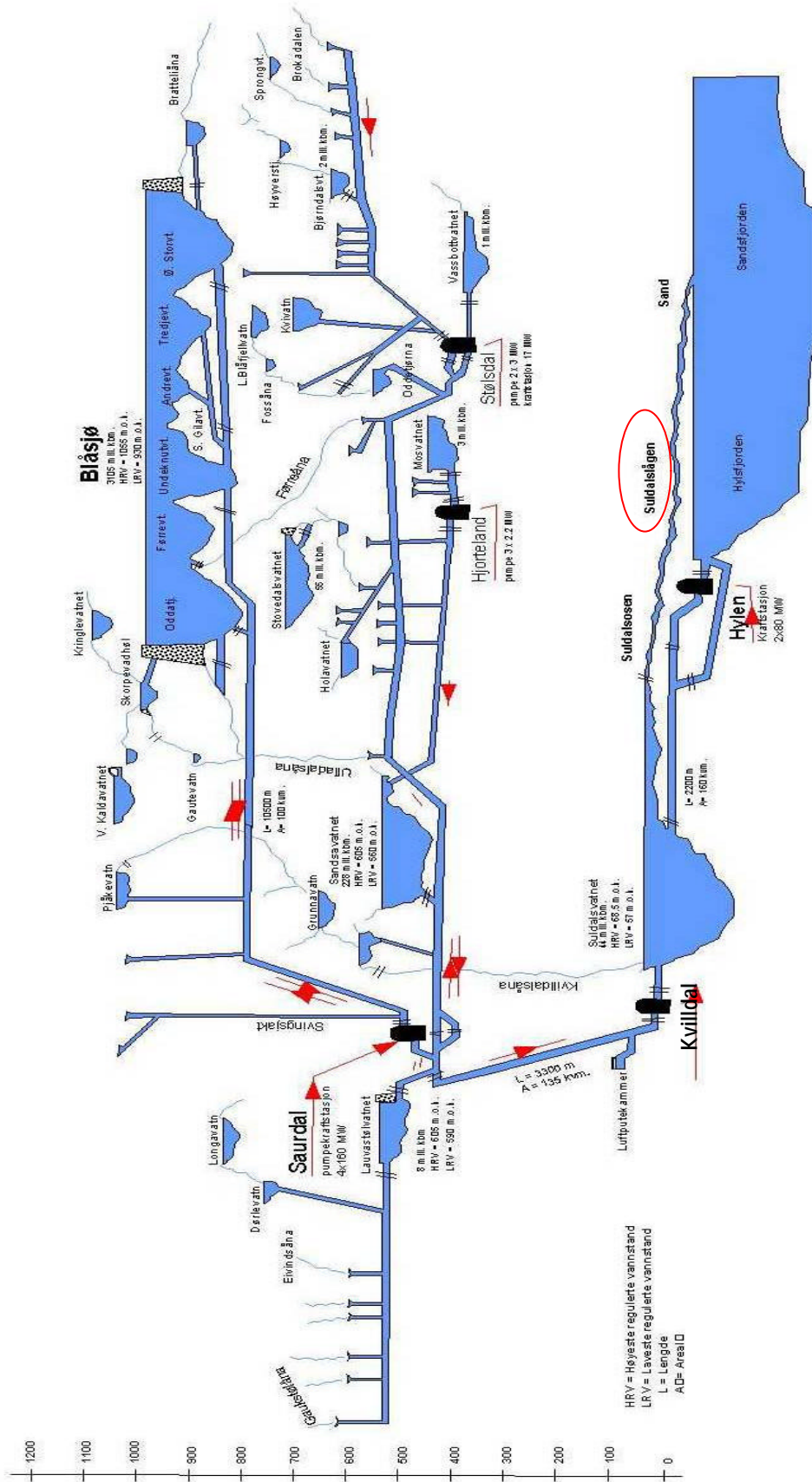


図3 Ulla-F Ⅱプロジェクトの縦断面図

(仮訳)

2. プロジェクト地域の特徴

ノルウェー南西部のRogaland地方に位置するSuldalsl ge川は、Suldalsvatn貯水池に源を發し、海面まで22kmを流れ、そこでSandの町のSandsfjordに流れ込んでいる(図1参照)。Sandは約1,200人の居住者を有する。その地域は風景の美しさで有名であり、Suldalsl ge川は大型のサケがいる大変価値のある釣り場であることで知られている。漁獲量は1880年以降記録されており、釣り竿による平均年間漁獲量は約3,000kgになる。外来の釣り人に対する入漁許可と宿泊施設は地域社会にとってサケを非常に価値のあるものにした。

Suldalsl geはこの地域で最大の自然流量を有する水系である。未調整の流量は年平均で91m³/secである。出水時の流量は700m³/secに達する一方、冬季の流量はせいぜい15m³/secにしかならない。集水地域の多くが標高1,000mを超える山岳地域に位置しているため、融雪水の多くが6月中旬から7月下旬にかけて流れ出る。集水地域の平均降水量と温度を図4に示す。

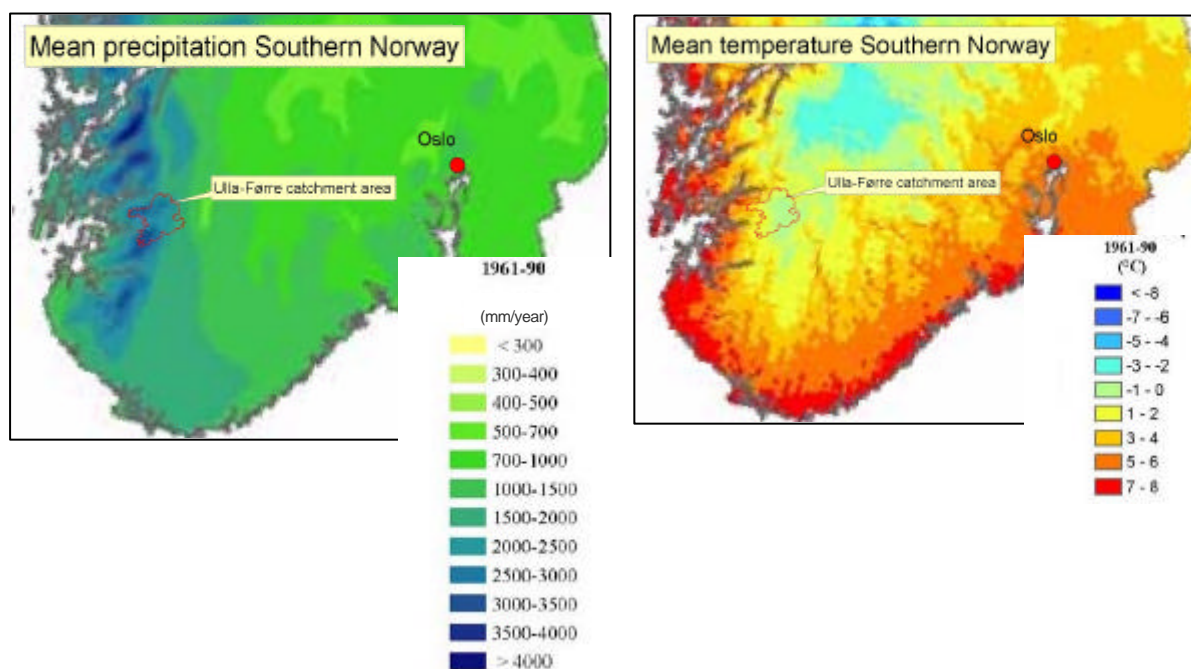


図4 ノルウェー南部の平均降水量と平均気温
(Ulla-Førre集水地域の境界を赤線で示す)

水力発電は多くの場合河川環境へ影響を与える。Suldalsl ge川におけるタイセイヨウサケ (Salmo salar) は重要な配慮事項になっている。タイセイヨウサケとマス (Salmo trutta) はSuldalsl ge川全域で生息している。河川水量の調整は状況を悪化させると推定された。水量調整実施以前でのサケに関する唯一のデータは釣り人からの漁獲統計だけである。これらのデータは推定された影響を立証するものではない(図5参照)。

天然サケの群れへのストレスはここ30年間増え続けてきた。そのストレスはサケのライフサイクルにおける河川での生活時期に関連するばかりではない。図5における変動は、恐らく主に海水温度、漁獲及びサケの寄生虫で説明できる。しかしながら、本レポートは水力発電の発電電力量と環境管理の原則の両方を満たすような方法で水力システムを管理する可能性に焦点をあてるものである。

(仮訳)

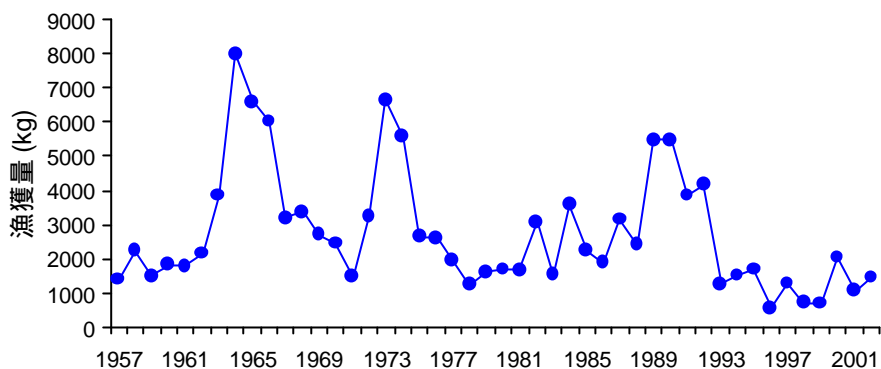


図5 釣り人の漁獲統計による Suldalslægen 川におけるサケの漁獲量 (1957年~2002年)

当初、人工孵化されたサケを川へ放流することで Suldalslægen におけるタイセイヨウサケの数を維持する取り組みが行われた。1980年代後半からプログラムは別の手法をとった。この手法は、孵化場での育成を通してサケのライフサイクルを妨げることなく、川の自然作用に注目することで Suldal サケの個体数を増加させようとするものであった。サケの幼魚に対して負の影響を与える要因を確認するための研究において多くの取り組みが行われた。この日の緩和策は、サケのライフサイクルに適応した流況を与える方法で河川を管理することに集中している (図6参照)。自然な低水温と餌供給源としての可用性により、河川はサケを産み出す最低限の能力をもつことになる。



図6 タイセイヨウサケのライフサイクル

Suldalslægen 川の集水地域における最初の流量調整プロジェクトは夏季の流量減少と冬季の流量増加とこれに伴う水温の上昇を導いた。Ulla-Førre プロジェクトは結果として一年を通じた流量の減少を引き起こした。これにより、冬季の水温は自然の状態に近づいたが、サケの成長期 (5月から10月) の水温は低下することになった。これらの変化は生物学的な影響を与える可能性がある。流量の変化を図7に示す。

(仮訳)

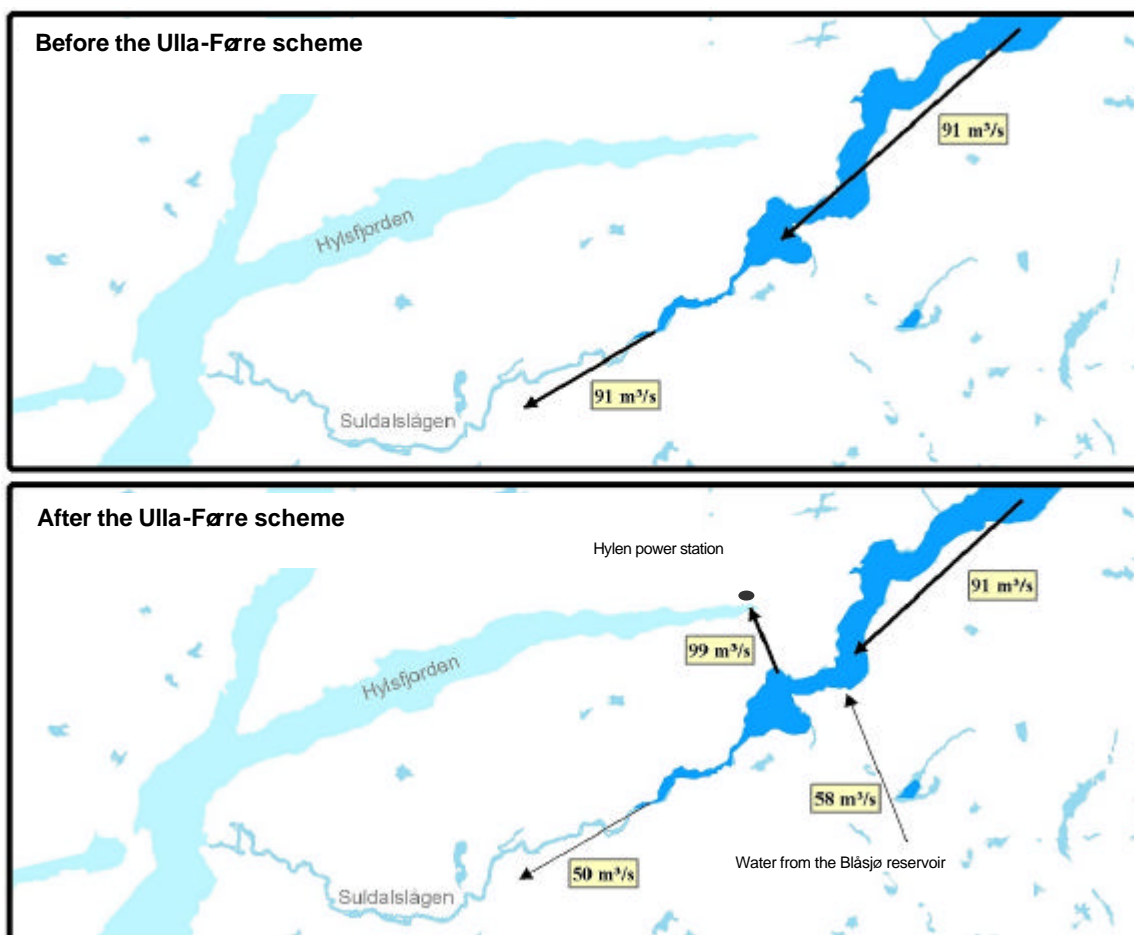


図7 Ulla-Førre流量調整プロジェクトによるSuldalslægenの流量変化

3. 主要な影響

Ulla-Førre流量調整プロジェクトの後のタイセイヨウサケの幼魚の密度は数年間減少した。漁業権の所有者に対して補償金が支払われ、1988年には、Statkraft社は人工的に孵化されたサケを放流することで損失を補償するよう要請された。これらの放流が十分に効果的であると証明されなかった。また、サケを放流することの負の影響、すなわち河川の収容能力が限界を超え栄養十分な孵化場からのサケが勝者として生き残り、自然に育ったサケが敗者になる可能性があった。しかしながら、海での生活時期の間、自然の群れは、生まれた川へ戻る個々よりも高い生存率をもっているように思われた。従って、サケの幼魚が河川の生態系において自然の生息地を造ることを可能にすることが重要になった。広範にわたる研究の結果は、餌供給源としての有効性の低さと成長期における低水温がSuldalslægen川の自然の阻害要因になっているという結論を下した。流量調整は次のことを引き起こすことでサケの生活環境を更に悪化させる可能性がある。

- 流量減少による浅瀬への打ち上げ

流量の急な減少は、浅い水溜まりや干上がった河床に魚を置き去りにする。このような事象はサケの数の著しい低下をもたらす可能性がある。

- 堆砂とコケや藻類の成長による好ましい生息地の喪失

出水量の不足は、堆積物や有機物を運ぶ河川的能力を低下させる。河川に有機物を保ったままにすることは、低い餌供給源の有効性に役立つ一方で、好ましい生息地を細かい粒状の堆積物あるいは藻類で覆ってしまう可能性がある。

(仮訳)

- 成長期（5月から10月）における水温の低下
サケの成長期における水温の低下はサケの幼魚の成長を妨げる。
- 出水不足による二年子のサケの河川から海への移動の混乱
出水期は二年子のサケが河川から海へ移動するきっかけとなる。フィヨルドにおける淡水量と幼魚の移動時期は、サケの海での生活時期を生き残るための重要な要因であると考えられている。
- 流量変動の欠如による成長したサケの海から河川への移動の混乱
成長したサケの河川への移動は、夏季における流量の変動に依存する。
- Hylsfjord への成長したサケの誤った移動
フィヨルドにおける淡水量はサケの河川への移動に影響する要因の一つである。Hylen発電所はSandsfjordの一部であるHylsfjordの上部に位置しており、Hylsfjordに放流している。（図8 参照）。Suldalsl gen川の出
口はSandsfjordのずっと下流側にあるため、Hylen発電所を通じたHylsfjordへの分流はサケの移動に影響を
与えていると考えられている。



図 8 Suldalsl genと Sand fjord

4. 影響緩和策

ノルウェーでは、水力を開発するための許認可は政府を通して与えられる。これらの許認可は河川管理規定を含んでいる。1974年から施行されたUlla-Førreに対する当初の河川管理規定は、海面近くに位置する計測ポイント“Lavika”（図2参照）において維持流量（冬季 $12\text{m}^3/\text{sec}$ 、夏季 $51\text{m}^3/\text{sec}$ ）を要求した（図9参照）。この規定された維持流量はノルウェーで最も大きなものであった。漁期を通じて、海から河川へのサケの移動のきっかけとなる出水を起こすため、 $5,000\text{万}\text{m}^3$ の水が漁業権所有者に利用可能であった。これらの規定は、タイセイヨウサケを保護するのになお不十分であることを示した。つまり、河川流況は、Suldalsvatn湖からの放流量の減少速度に対する規制を設けていなかったため、結果として放流量の急激な減少を引き起こした。

(仮訳)

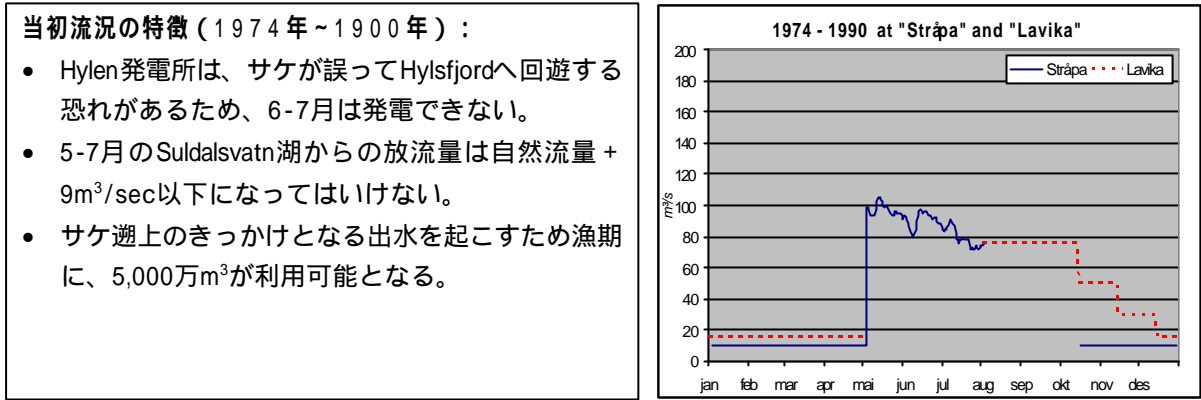


図9 1974年～1990年の流況の特徴

(図は5月から7月は実際平均流量を示す他、必要維持流量を示している)

異なる流況の実物試験に関する研究を通して問題の解決策を見出すため、1990年にStatkraft社は試験的な流況を申請した。試験的な規制の重要な目的は、地域の利害関係者、環境規制当局、水資源管理者及び研究機関と協力して、異なる流況を試してみることにあった。この新しい流況では、3%/時間の流速減少の規制を導入した。流量を計測する管理地点は、安定的かつ制御可能な流量を確実にするため、海面レベルからSuldalsvatn湖の流出口近くに(“Stråpa”: 図2の地図を参照)に移された。規制導入以前では、春季の洪水はSuldalslågen川ではごく普通のことであった。規制の導入後は、これらの流況は管理され、1990年以降では350 m³/secの最大流量が許容されている(図10参照)。

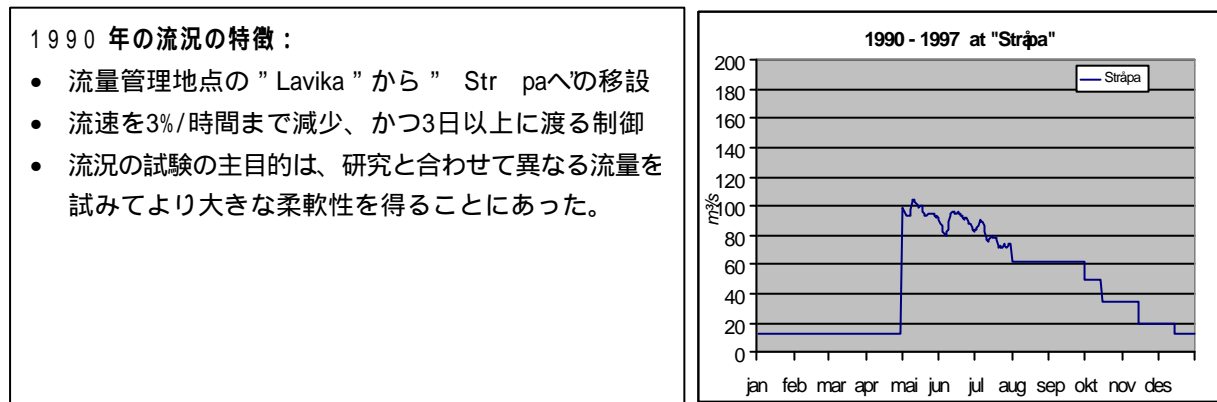


図10 1990年の流況の特徴

(図は5月から7月は実際の平均流量を示す他は最小必要流量を示している)

1998年にStatkraft社は、1998年から2003年の期間に対する研究および新しい試験的な河川規定を受領した。この期間中、発電量と生態系を両立させる最善の流況を見出すために二つの異なる流況が試された。最終的な規定は既知の流況の組み合わせになりそうである。その流況は前述の主要な影響に注意するよう決められている(図11、図12を参照)。

(仮訳)

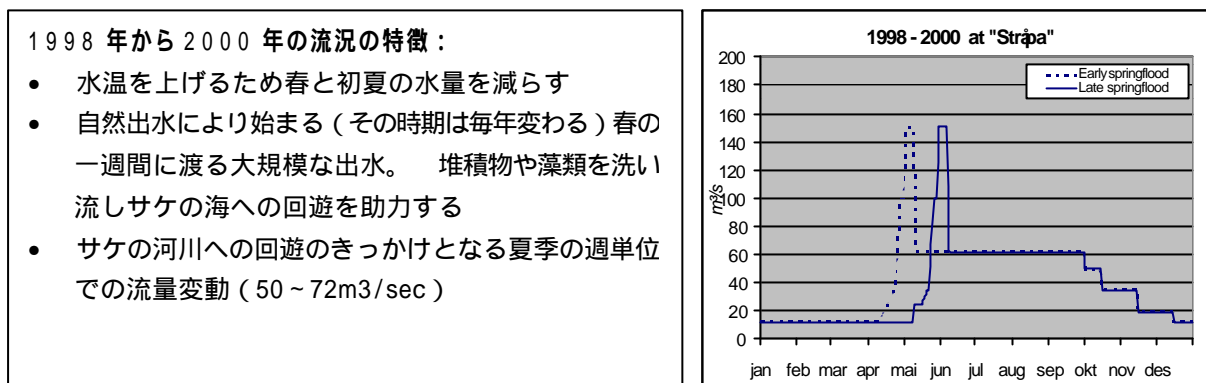


図 11 1998年～2000年の流況の特徴：
(必要な最小流量を示している)

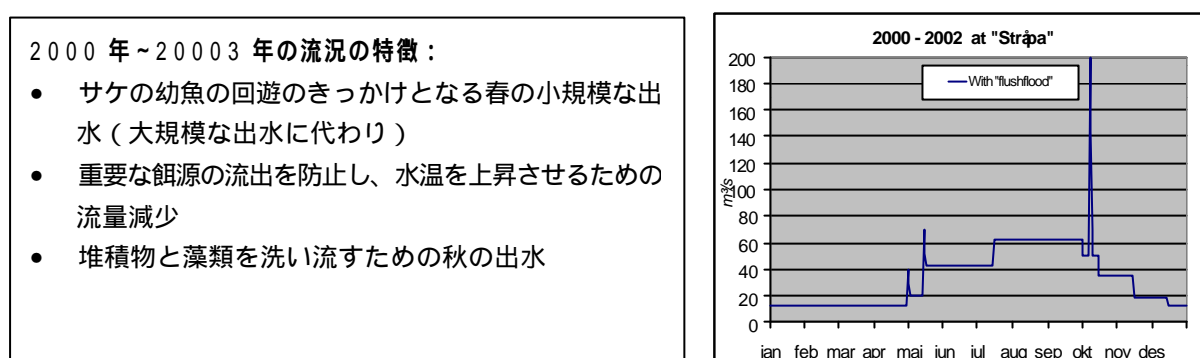


図 12 2000年～2003年の流況の特徴
(要求された維持流量を示している)

5. 影響緩和策の効果

流況の試験期間は2003年に終了した。流況変化の全ての効果が明らかになるには、研究がサケのライフサイクルに関するものであるため、まだ時間がかかるだろう。従って、研究者たちは全てのトピックに関する結論をまだ出していない。しかし、新しい規定によるいくつかの効果は観測されている。

- サケの浅瀬への打ち上げを防ぐ方策の有効性が示され、サケの浅瀬への打ち上げは無くなった。
- 春と夏における流量の減少は水温を上昇させ、サケの幼魚の成長を増進させた。
- 過度な堆積物や繁殖を洗い流す出水の有効性が示された。短期間の 200m³/sec の出水は 150m³/sec の一週間の出水と同じ結果を与えるように思われる。
- 魚の回遊に関する予備的な結論も出された。
- 夏における流量の変動は成長したサケの河川への移動を増加させるように思われる。
- サケの幼魚の移動は、大規模な出水ではなく流量の増加がきっかけになっているように思われる。

最終的な結論は、新しい水管理規定における流況の基礎を形成するだろう。試験期間は2003年で終了し、Statkraft社は2004年に確定した水管理規定を申請することを目指している。

(仮訳)

6. 成功理由

成功の理由は、Statkraft社と地域の利害関係者、環境当局、水資源管理者及び研究機関の協力を強く関連している。Suldalsl gen川におけるサケの重要性と地域の利益とを真剣に考慮することは、地域の賛同を得るために重要であった。

Suldalsl gen川の調査の結果が他の河川に適用され得るという事実は、プロジェクトの高額な費用を正当化するとともに、成功の理由を考えるときの重要な要素である。また、今日の規定が1974年当時の規定と比較して発生電力量の増加させているという事実は、プロジェクトの費用を正当化する。関係者全員の柔軟な対応は、結果として経済性と生態系を両立させる規定を作り出した。

7. 第三者のコメント

- 1) プロジェクトに関連する研究結果は一連の報告書で出版された。
- 2) 地方、全国及び国際メディアによりプロジェクトに関するいくつかの記事は配信された。
- 3) ポスターセッションでの発表。
 - 2000年酸性雨国際学会（Acid Rain 2000）ポスターセッション
 - ノルウェー西部 Suldalsl gen川の酸性支流における豪雨に対するタイセイヨウサケの生理学的反応： J. Schjolden and A.B.S. Pol o University of Oslo, Department of Biology, POBox 1066 Blindern, 0316 Oslo Norway
 - 酸性のアルミニウムが豊富な水にさらされた後の Suldalsl gen川からのタイセイヨウサケの生理学的な回復： S.Hytter d, J. Schjolden and A.B.S. Pol o University of Oslo, Department of Biology, POBox 1066 Blindern, 0316 Oslo Norway
 - ノルウェー西部 Suldalsl gen川の支流からのアルミニウムと酸性水にさらされたタイセイヨウサケにおいて増加する海水への耐性（環境順応性）： A.B.S. Pol o, J. Schjolden and S.Hytter : dUniversity of Oslo, Department of Biology, POBox 1066 Blindern, 0316 Oslo Norway
 - ノルウェー西部 Suldalsl gen川の選択された支流におけるサケ科魚類の幼魚の密度に対する水質の影響： A.B.S. Pol o1, C.S. Jensen2, J. Schjolden 1 1University of Oslo, Department of Biology, POBox 1066 Blindern, 0316 Oslo Norway： 2Statkraft Engineering AS, POBox 191, 1322 H vik Norway
- 4) ある主題に関する専門家の不一致があったが、最終的な結論にはまだ至っていない。

8. 詳細情報の入手先等

8.1 参照文献

- 1) Kaasa, H. 1998. Lakseforsterkningsprosjektet i Suldalsl gen, fase II. Sluttrapport 1990/1997. Resultater og konklusjoner. Statkraft Engineering. Includes 180 detailed references.
- 2) Kaasa, H. 1999. Enhancement of an Atlantic salmon population. Recommended measures and their estimated costs. River Suldalsl gen, Norway. International workshop on sustainable riverine fish habitat. Victoria, British Columbia 1999.

8.2 問い合わせ先

Vilde Eriksen
Statkraft SF
P.O. Box 200, Lilleaker
NO-0216 Oslo

(仮訳)

Phone: +47 24 06 70 00

vilde.eriksen@statkraft.no