

2003年の欧州猛暑がローヌ川の流出特性に及ぼした影響

石 黒 直 子

はじめに

2003年、ヨーロッパは記録的な猛暑に見舞われた。この猛暑によって、ローヌ川流域の氷河や積雪は例年より多く融け、その結果ローヌ川の流出特性は少なからず影響を受けたと考えられる。本稿では、この猛暑がローヌ川の流量特性に及ぼした影響について簡単に報告する。

研究対象地域と使用データの概要

図1にレマン湖とその集水域を示す。ローヌ川はレマン湖に流入する全河川の総流量の8割以上を供給する。またローヌ川は、その流域の16%が氷河に覆われており、融氷の影響を大きく受ける流出特性：つまり、夏季に流量が多く低水温で高濁であることを示している。ローヌ川の流量、水温などのデイリーデータはOFEG (Office Fédéral des Eaux et de la Géologie) によって図1に

示すRhône P d S (Porte du Scex；ポルト・デウ・セ) で計測されている。SS (Suspended Solids：懸濁物質) 量データはOFEGによって週2回のサンプリングを行い1986年以降計測されている。本研究ではこの週2回のデータを月毎に平均して、月平均値を求めた。気温のデータはMétéoSuisseによって観測されているツェルマット (Zermatt) (標高1638m) のものを使用した。使用する気象データの地点として、レマン湖集水域の中でも湖岸のジュネーブ (Genève) やローヌ川沿いにあるシオン (Sion) (標高482 m) ではなく、ツェルマットを選定したのは、この地点の標高が高く周辺に氷河が存在し、夏季の気温変動は融氷に直接関係すると考えられるからである。

結果・考察

ツェルマット (標高1638 m) の2003年の日平均気温の変動を図2に示す。比較のため、月平均気温の平年値データも載せた。同地点での気温の

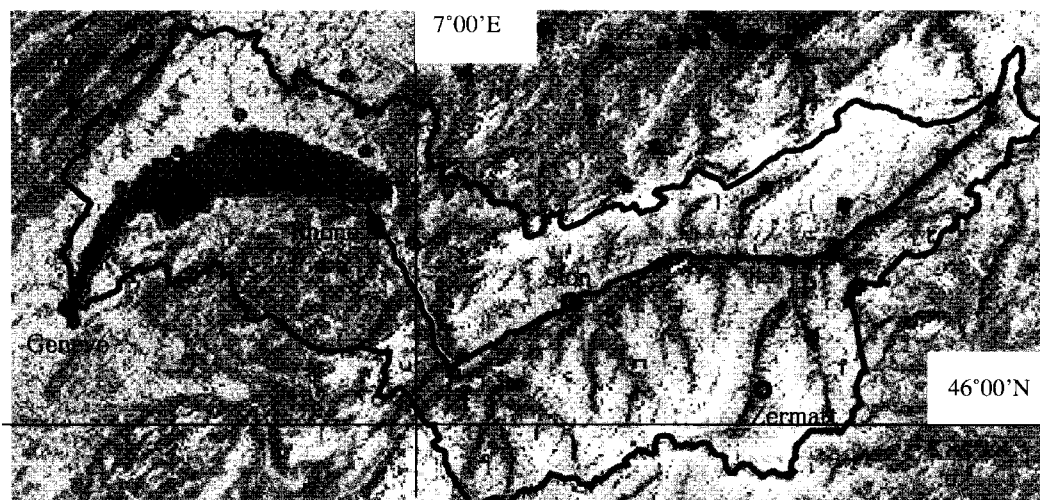


図1 レマン湖集水域とローヌ川、観測地点 (○で表示)

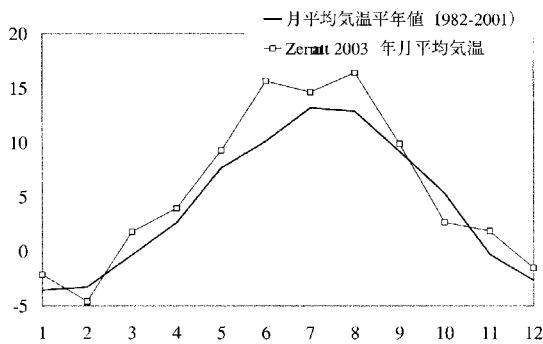


図2 ツェルマット (標高1638m) における2003年の気温変動と平年値 (1982-2001) との比較

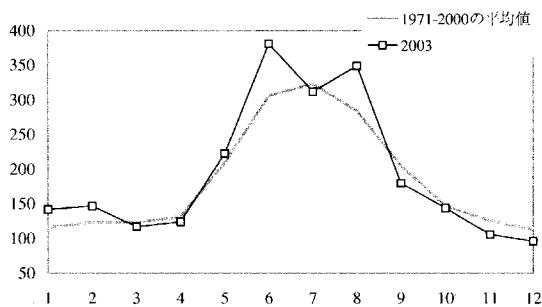


図3 2003年と平年値のローヌ川の月平均流量の季節変動

長期観測値は1971年から1981年まで欠測しているため、ここでは1982年から2001年までの20年間の平均値を用いた。2003年は明らかに6月から8月にかけての気温が平年値より高いことがわかる。

図3はローヌ川の2003年の月平均流量の季節変動を1971年から2000年の30年平年値と比較している。2003年は特に6月と8月に大幅な流量の増加が見られる。この変動は気温の変動にほぼ対応していると考えられる。6月の流量平年値は320 m³/sであるのに対し2003年6月の流量平均値は380 m³/sである。一カ月間の湖への流入量の平年値との差としては 1.6×10^8 m³もの違いがある。8月も同様に、平年値が290 m³/s、2003年が350 m³/sで総流入量としては平年値より約 1.6×10^8 m³も多い。また、2003年7月の月平均流量は平年値と大きな差はないものの312 m³/sであり、6月から8月までの3ヶ月間の総流入量は 0.99×10^9 m³ (6月) + 0.94×10^9 m³ (7月) + 0.84×10^9 m³ (8月) = 2.77 km^3 にもおぼり、平年の年間総流入量5.6 km³ (1935年から1980年までの平均流量178

m³/s (CIPEL.1984) より算出) の半分近くに達することになる。

図4はツェルマットの日平均気温とローヌ川ポルト・デゥ・セにおける日平均流量データを時系列で並べたものである。図中に一例として、特に日立ったピークの日時を示した。気温で見られる6月12日のピークは流量の6月13日のピークに対応していると考えられ、また7月4日の気温の低下は7月6日の流量の低下として現れていると考えられる。両変数の変動は良い対応を示すが、若干流量のピークが気温より遅れて見えていることがわかる。つまり、ツェルマットにおける気温の変動の影響がポルト・デゥ・セの流量に現れるのには数日の遅れを伴うということがわかる。そこで、気温と流量の変動がどれくらい遅れをもって対応しているのかについて検討するため、流量の遅れ0から6日についてのラグ相関分析を行った。その結果を図5に示す。

相関分析に使用した期間は平均流量の高い2003年夏季の6月1日から8月31日までの92日間、流量・気温の日付けをずらさない相関 (図5のラグ0) では92データであるが、ラグで1日ずらすと分析データ数としては1日ずつ減る。データ数90の場合、有意水準を0.5%としても、相関係数は0.267以上で有意であるから、今回の結果はラグ6日以外ではいずれも有意であるといえる。中でも特に2日遅れで気温と流量の変動がもっとも高い相関係数を示していることが分かった。また、それ以上ラグを大きくすると、日数が多くなるにつれて相関係数が低くなっていくことが明らかになった。以上の結果から、本研究で対象にした期間に関しては、ツェルマットの気温に対して、ローヌ川の流量はほぼ2日遅れで応答していることがわかった。

さらに、2003年夏季のローヌ川のSS量について考察した。SSデータは1986年から存在するが、2003年のデータを平年値と比較するために1986年から2001年までの16年間の月平均SS量から平年値を計算した。その値と2003年の月平均SS量とを比較したものを図6に示す。

図6から、2003年夏季のSS量は平年値より明らかに高いことがわかる。なお、6月から7月の3ヶ月間にローヌ川からレマン湖へ運ばれたSS量²⁾を概算した。SS量の実測データは週2回のデータであるが、それに基づいて算出した月平均SS値

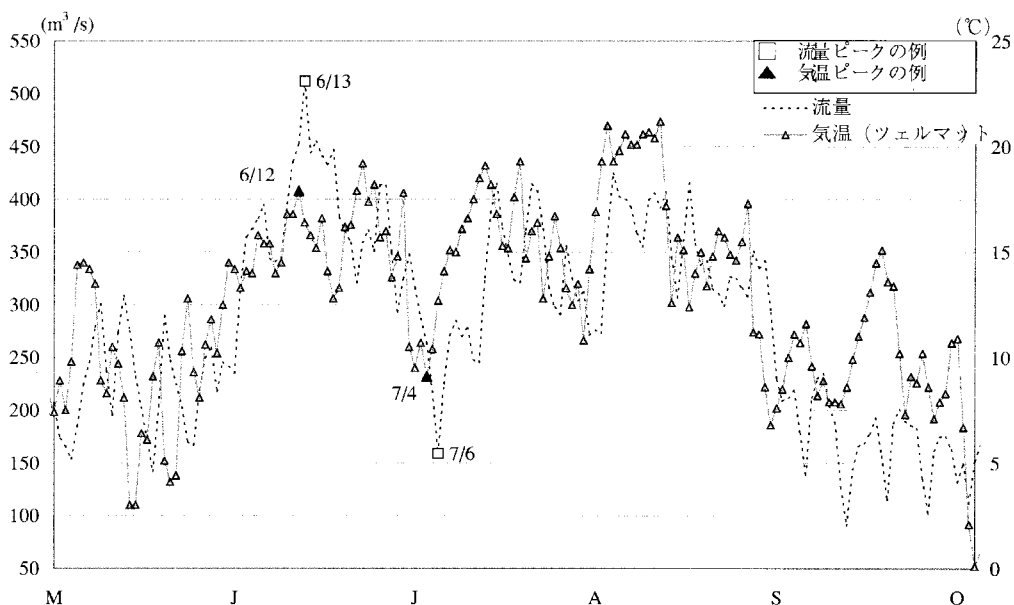


図4 2003年夏季のローヌ川の流量とツェルマットの気温の変動（デイリーデータ）

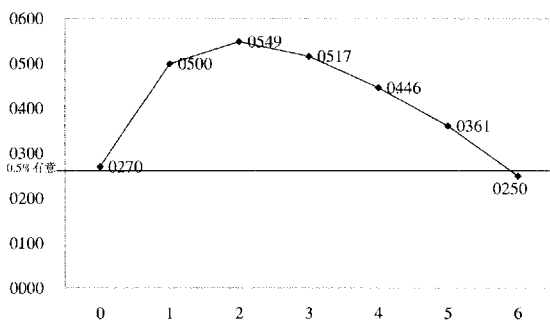


図5 2003年6月から8月のローヌ川の流量とツェルマットの気温のラグ相関

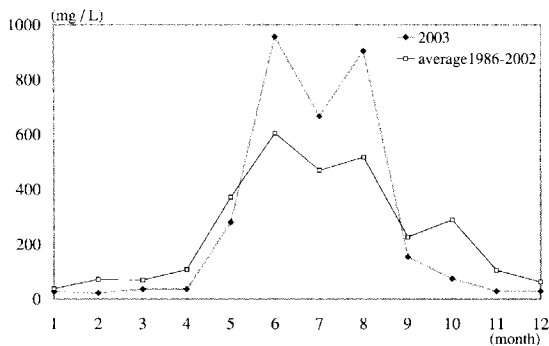


図6 ローヌ川の2003年の月平均SS（懸濁物）量と月平均年平均值（1986－2002年平均）

を、既述したそれぞれの月の合計流量でかけることによって概算すると、 $0.99 \times 10^9 \times 10^3 \times 956.6$ (6月) + $0.94 \times 10^9 \times 10^3 \times 666.5$ (7月) + $0.84 \times 10^9 \times 10^3 \times 905.0$ (8月) (mg) = 2.3×10^6 トンにもなる。

まとめ・おわりに

2003年の猛暑がローヌ川に与えた影響は特に6月と8月に顕著に見られ、半年値に比べると、この2ヶ月間で $3.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ もの流入量の増加をもたらした。また2003年夏季3ヶ月間の湖内流入SS量はおよそ 2.3×10^6 トンにも上ると推定された。ツェルマットの平均気温とローヌ川ポルト・トゥ・セの流量の応答には約2日間のずれがあることがわかった。また、猛暑のような夏季の気温上昇は、ローヌ流域の氷河を融かし、最終的にはローヌ川の流出特性を変化させる可能性がある。その結果として、Ishiguro (2004) の中で仮定されている深層への溶存酸素供給システム（レマン湖の深層の溶存酸素はローヌ川の低温高濁水の流入によってもたらされているシステム）自体が消滅する可能性も考えられる。今後、2003年の猛暑による、氷河の占有面積・体積の減少に関する詳細な実測データが示されることを期待する。また、流量の変動は気温の影響だけでなく人為的要因な

どもあると考えられるため、今後はダム の管理状況などについても考察したい。

謝辞

データの提供に際し、Météosuisse の Isabelle FATH 氏、OFEG の Daniel STREIT 氏には便宜を図っていただいた。フランス語の添削を Philippe OLIVE 氏に第 6 大学名誉教授にいただいた。フランス留学と現地調査に関してはフランス政府 (97 年—98 年)、財団法人吉田育英会 (2000—2003 年)、お茶の水女子大学海外留学支援金 (2003 年—2004 年) によって支援していただいた。

注

1) 有意水準 1% では、ラグ 6 日も有意となる。

2) ここでは、ポルト・デウ・セで計測された SS 量がそのまま湖内へ流入すると仮定した。また、SS 量の実測データは週 2 回のデータであるが、そこから求めた月平均の SS 量をその月の月合計流量でかけることで運ばれた SS 値を推定した。

文献

CIPEL (1984). LE LEMAN. Synthèse 1957-1982. 650p.
Ishiguro N. (2004) L'influence du climat et des affluents sur l'oxygénation et la turbidité des lacs : le cas comparé du Léman, des lacs alpins et japonais. Thèse de Université de Limoges. 358p.

いしぐろ なおこ

お茶の水女子大学 人間文化研究科 複合領域科学専攻

L'effet de la canicule 2003 sur le débit du Rhône en amont du Lac Léman

Naoko ISHIGURO

La canicule a caractérisé l'été 2003. La température de l'air, durant l'été 2003, à Zermatt a été largement plus élevée que la valeur moyenne des derniers 20 ans. Concernant le régime du Rhône à la Porte du Scex, le débit estival, notamment celui des mois de juin et d'août a été remarquablement augmenté. L'apport total de 1er juin au 31 août 2003 atteint à 2.77 km³, ce qui représente environ la moitié de l'apport annuel, soit 5.6 km³ (débit moyen de 1935 à 1980). La sensibilité de la réponse à le débit à la Porte du Scex par la variation de la température de l'air à Zermatt a été analysée : l'effet de la variation de température de l'air à Zermatt apparaît 2 jours après sur le débit à la Porte du Scex. D'autre part l'apport de matières en suspension de juin en août 2003, a été estimée à 2.3 × 10⁶ tonnes.

Mots clés : température de l'air, Rhône, débit, canicule 2003, taux de matières en suspension