

スウェーデンにおける陸水環境(1)

小林, 信彦 / Inoue, Tomoo / 井上, 奉生 / Kobayashi, Nobuhiko

(出版者 / Publisher)

法政大学人間環境学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

人間環境論集 / 人間環境論集

(巻 / Volume)

1

(号 / Number)

1

(開始ページ / Start Page)

73

(終了ページ / End Page)

92

(発行年 / Year)

2000-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00004553>

スウェーデンにおける陸水環境（Ⅰ）

井 上 奉 生 （法政大学人間環境学部）

小 林 信 彦 （法政大学大学院人文科学研究科博士課程）

Ⅰ. まえがき

筆者の一人（井上）はスウェーデン国立農業科学大学環境アセスメント研究所で在外研究中（1995年4月～1996年4月）、スウェーデンにおける河川、湖沼に関する多数の陸水水文資料を得た。今回はこれらの資料からスウェーデンにおける陸水環境の概要について報告する。なお、今後は日本とスウェーデンの水質をはじめとする水文諸特性の比較について順次報告する（現在、資料を解析中である）。

Ⅱ. スウェーデンの自然環境の概況

Ⅱ-1. 地形・地質

スウェーデンの基盤岩の大部分はフェノスカンディア楕状地と呼ばれる先カンブリア紀の花崗岩や片麻岩などの結晶質の岩石である。その他に、その後の古生代（カンブリア紀～シルル紀）のはじめにかけて形成された石灰岩、砂岩などの水成岩、そしていわゆるカレドニア褶曲運動によるノルウェーとの国境をなしている脊梁山地であるスカンディナ비아山脈を形成している地質が主なものである。これらの山地は長期にわたり外的営力により侵蝕を受け準平原化され、とくに北部のスカンディナ维亚山脈は2000m前後の稜線をもち、南東方向に向かって緩やかに傾斜している（図Ⅱ-1）。この地形に従って多くの河川は北西から南東方向に流れる。また、これらの山地は第四紀の氷期（フェノスカンディア氷床）により氷触作用を激しく受け、あるいは氷床の後退時に残された氷堆石（モレーン）によって随所で堰止められ数多くの湖沼群が形成されている。また、融氷水により形成された漂礫堆積、いわゆるエスカーも随所にみられ、建設材料の骨材として利用されているが、現在では景観や表流水の濾過のため

採石を規制しているところもある。

Ⅱ-2. 気候

南北に長く延び（54°40′N～69°N）、とくに中・北部は西側を脊梁山地で境されている地形は、この国の気候の特色をつくるうえで重要な因子となっている。すなわち、中・北部では北大西洋海流（湾流の続流）の影響を受けにくく大陸性の気候である。これに対して南部の低地は西側に高い山地は存在せず西岸海洋性気候に近い。

気温についてみると、冬季（1月）の平均気温は北部のラップランドで山岳および低地とも-12℃～-16℃を示し、中部の山岳部で-8℃～-12℃を示している。これに対してボスニア湾南部沿岸およびバルト海沿岸では-3℃～-1℃と比較的暖かい。夏季（7月）の平均気温は北西部の山岳地域で8℃～10℃、南西部の山岳地域で10℃～12℃を示し、ボスニア湾およびバルト海に面する低地は15℃～16℃を示す。とくに南部のベネルン湖やベッテルン湖等の大湖沼のある地域は内陸部でも15℃～16℃を示している（図Ⅱ-2）。

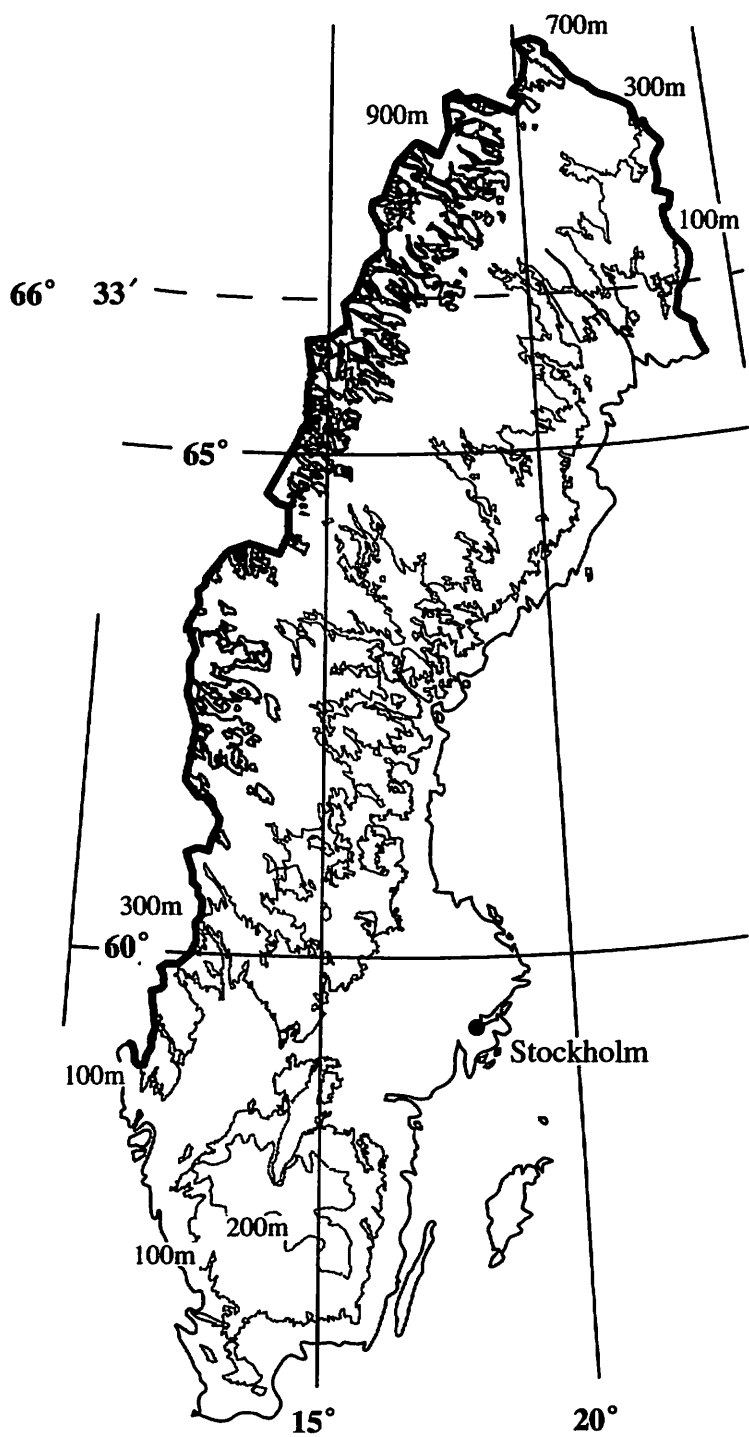
図Ⅱ-3に1756年～1994年の238年間のストックホルムにおける各月の気温の極値を示す。最高値は1811年7月3日の36℃、最低値は1814年1月20日の-32℃であった。また、月平均気温は次のとおりである（小数点一桁の四捨五入値）。

1月:-3.5℃	2月:-3.5℃	3月:-1.5℃
4月:3.0℃	5月:9.0℃	6月:13.5℃
7月:17.0℃	8月:16.5℃	9月:12.0℃
10月:7.5℃	11月:2.0℃	12月:-1.5℃

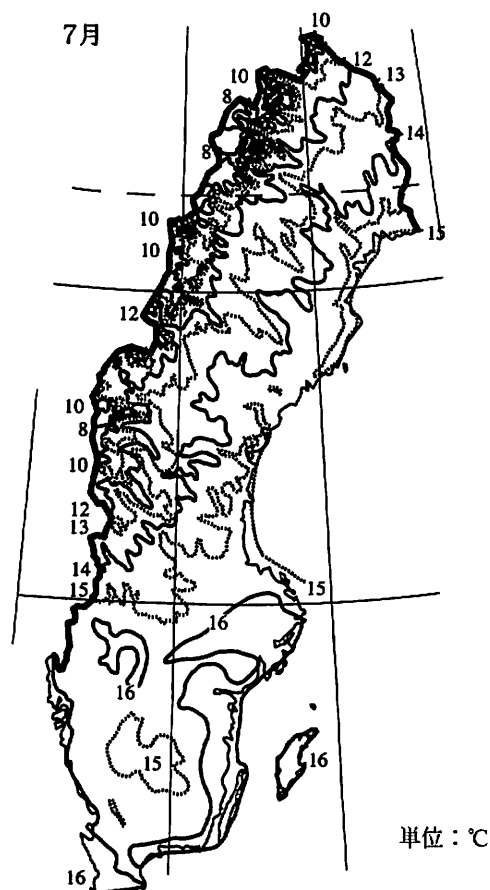
なお、年平均値は5.9℃である。

同じく、ストックホルムにおける1961年～1990

図Ⅱ-1 スウェーデンにおける標高分布



図Ⅱ-2 スウェーデンにおける1月と7月の平均気温（1961～1990）



年の近年30年間の月平均値をみると（理科年表1999年版）次のとおりである。

1月: -2.9℃	2月: -3.0℃	3月: 0.0℃
4月: 4.4℃	5月: 10.5℃	6月: 15.5℃
7月: 17.1℃	8月: 16.1℃	9月: 11.8℃
10月: 7.4℃	11月: 2.5℃	12月: -1.3℃

年平均値は6.5℃であり、近年30年間の方が0.6℃上昇している。この値の差は温暖化に関する気温差の可能性も否定できない。

ちなみに、スウェーデン国内における最高値は南部のスモーランド地方のMålillaおよびウップランド地方のウルツナ（ウップサラ郊外）の38.0℃（1947年6月29日および1933年7月9日）、最低値はラップランド地方のVuoggatj lmeの-52.6℃

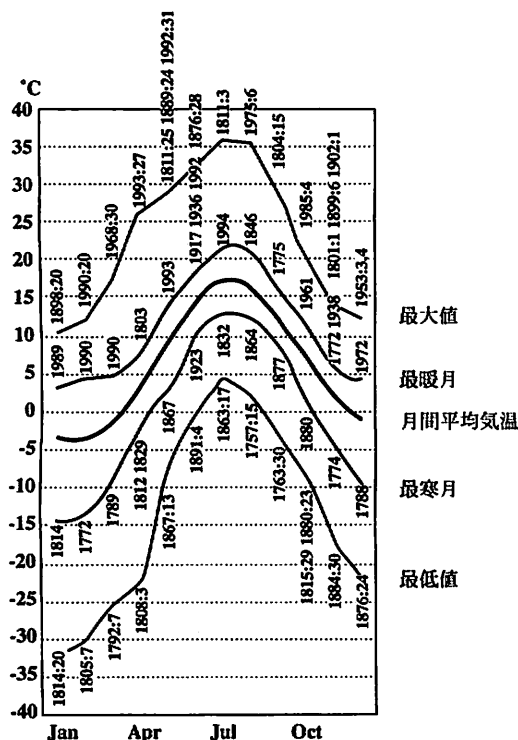
（1966年2月2日）であった。

降水量は総じて北部および脊梁山地の雨陰になる地域の降水量は少ない。スウェーデン全体で年平均750mm（ストックホルムでは535mm）で日本の約半分である。冬季間における平均積雪は、北部や中部の脊梁山地で130cm～90cm、丘陵や低地部で60cm～80cmで、大湖沼地域より南部は60cm～20cmの積雪深を示す。ちなみに、ストックホルム周辺は30cm～40cmである。降雨、降雪を含めて降水量は総じて脊梁山岳地帯に多く、南東部で少ない。なお、降水量（降雪を含む）の詳細については河川の流出の項で述べる。

Ⅱ-3. 植生

スウェーデンの植生は第四紀の氷床によって破壊され、現在の植生は氷期以後に復活したものである。とくに中・北部（Norrlund）はいわゆるタ

図Ⅱ-3 ストックホルムにおける気温の極値
(1756～1994)



イガにおおわれており、主な樹種はマツ、エゾマツ、モミとシラカバである（南側ではカシワ、ポプラなども混在する。南部のSkåne地方ではブナの広葉樹林がみられるが、シラカバ、カシ類、ニレなども混在する）。中・北部の針葉樹林地帯は土壌層の発達が悪く、また、山岳地帯では気温の関係もあり植生の成長はおそい。とくに山岳地帯の森林限界以上の場所では無植生か、あるいは矮小化された植生である。

Ⅲ. 河川

Ⅲ-1. 流域区分

SMHI（スウェーデン気象水文協会）では全国を119の流域に分割している。流域面積10,000km²以上の河川は次ぎに示すとおり14流域である。

Göta川: 50,132 km² Torne川: 40,157 km²
 Ångerman川: 31,865 km² Dal川: 28,965 km²
 Umeå川: 26,815 km² Indals川: 26,725 km²
 Lule川: 25,238 km² Norr川: 22,639 km²

Ljusn川: 19,826 km² Kalix川: 18,130 km²
 Motala川: 15,480 km² Ljung川: 12,853 km²
 Skellefte川: 11,730 km² Pite川: 11,285 km²

この14流域のみでスウェーデン国土面積（450千km²）の約74%にあたる。

参考までに日本における流域面積10,000 km²以上の河川をあげると、利根川の16,840km²、石狩川の14,330 km²、信濃川の11,900 km²、北上川の10,152 km²の4流域である。

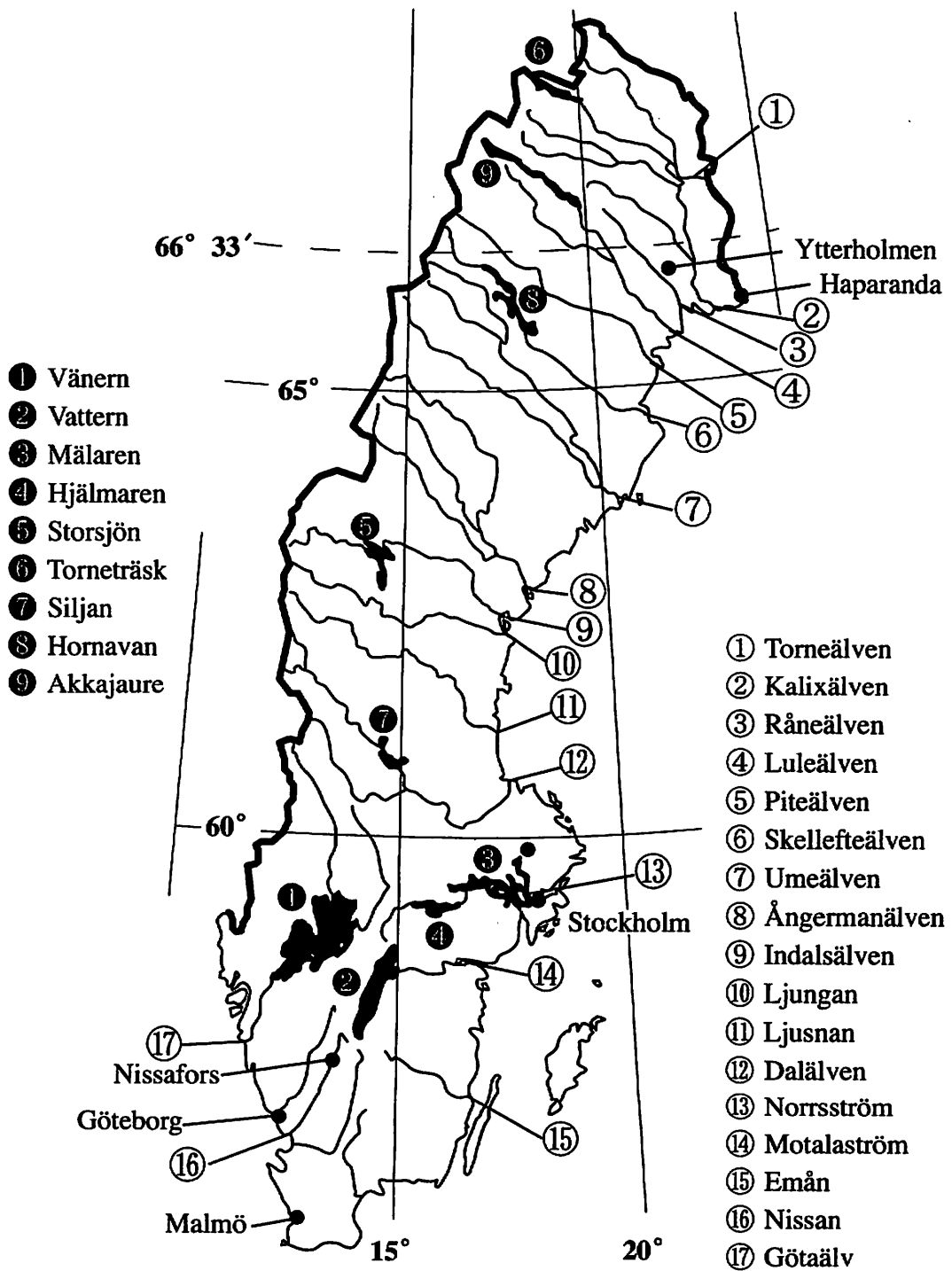
各河川の流向は中・北部と南部とでは相違している。中・北部の諸河川はノルウェーとの国境である脊梁山地からボスニア湾に向かって南東方向の流路をもつ。この流向はフェノスカンディア氷床の発達および衰退（ボスニア湾奥を中心とする隆起も含めて）方向と一致している。これに対して南部の諸河川はスモランド地方の標高200～300mの定高性のある丘陵に支配され、この丘陵を中心にバルト海およびカテガット海峡へ向かって東～南～西方向へ扇状の流路をもつ（図Ⅲ-1）。

地形・地質の項でも述べたように、氷河の侵蝕およびその氷堆石による堰止め等により形成された多くの凹地は当然湖沼となり、河川は湖沼と湖沼を結ぶ水路の状態を呈している。従って、どの河川流域でも湖沼の占める面積割合は高い。

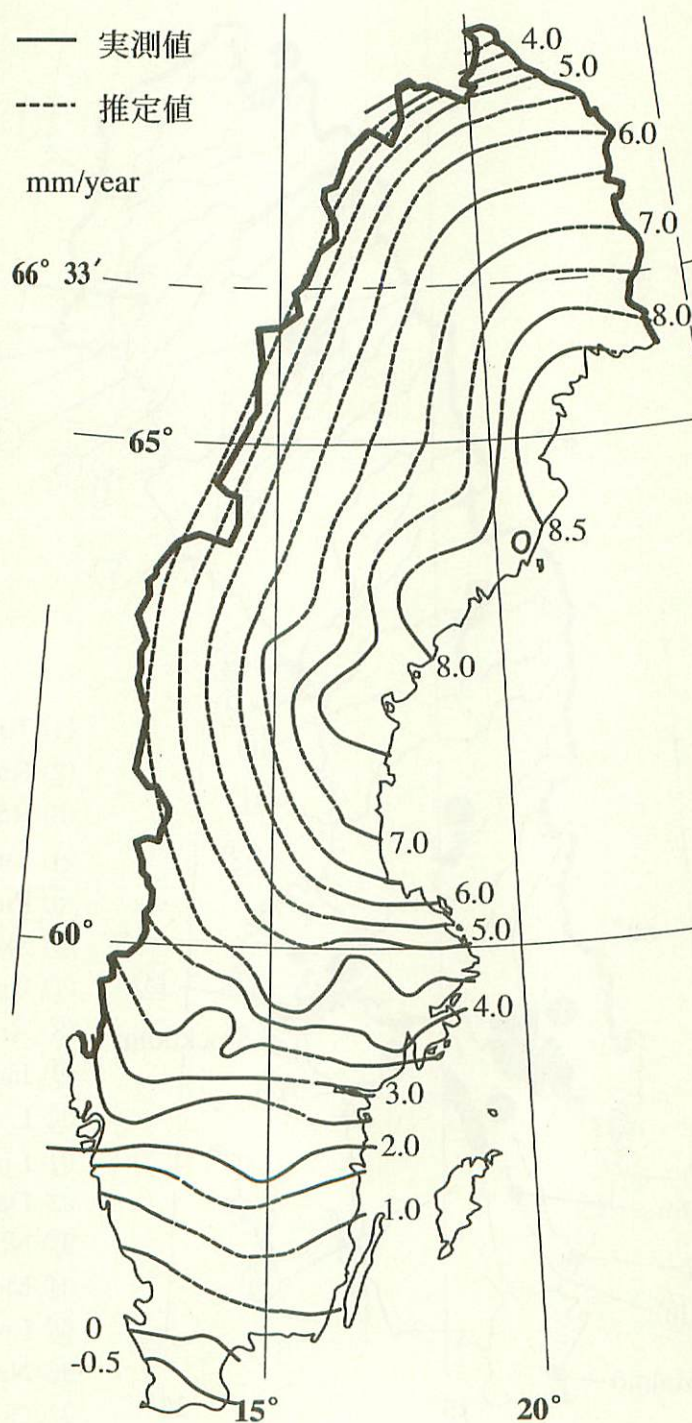
Ⅲ-2. 河川勾配

フェノスカンディア氷床の後退とともにボスニア湾奥を中心にスカンディナヴィア半島は現在も隆起を続けておる、Umeå川地区より北では年間8.5mm以上の隆起が観測されている（図Ⅲ-2）。これにより諸河川は侵蝕の復活が起き、とくに北部や中部の河川の湖沼群の出口には多くの遷急点が見られ、瀑布や急流が発達している。従って河川縦断形は階段状をなしている（例として日本における木曾川のように人工ダムの連続建設による河床形態に類似する）。図Ⅲ-3に代表的な河川の河床縦断を示す。これらの瀑布や急流は水力発電に利用されている。

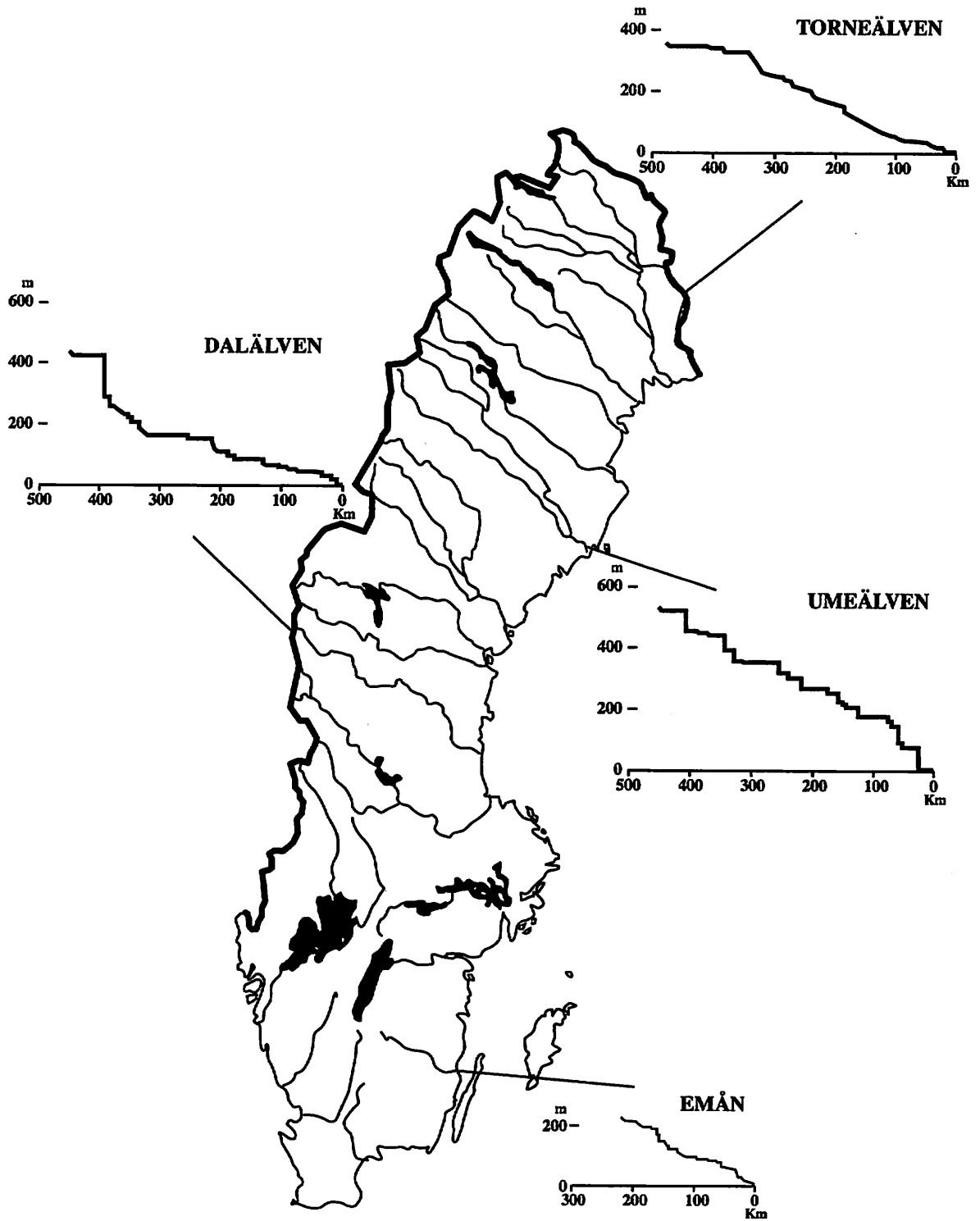
図Ⅲ-1 スウェーデンにおける主な河川



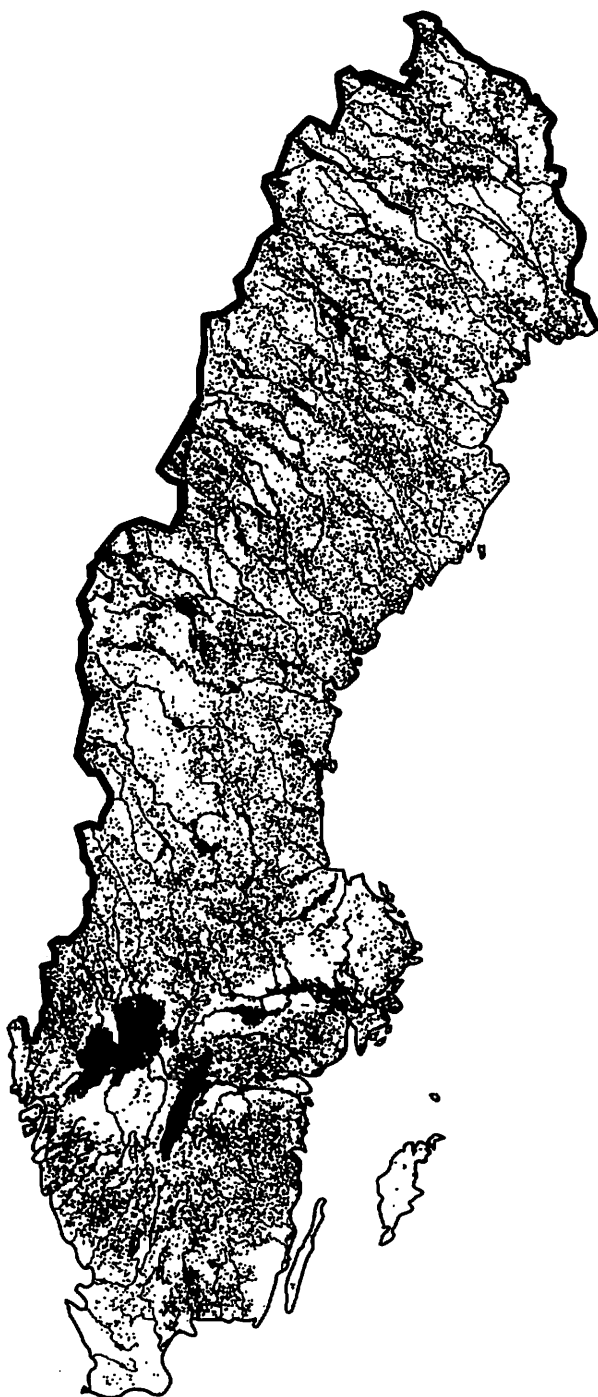
図Ⅲ-2 スウェーデンにおける近年の地盤隆起量



図Ⅲ-3 スウェーデンにおける主要河川の河床縦断



図Ⅳ－1 スウェーデンにおける湖沼分布



表Ⅳ－１ 湖沼の面積

大きさ (km ²)	湖沼の数	面積 (km ²)	面積 (%)
≥ 1,000	3	8,662	21
100 ~ 1,000	21	4,594	11
10 ~ 100	371	9,317	22.5
1 ~ 10	3,533	9,735	23.5
1.0 ~ 1	20,227	6,854	16.5
0.01 ~ 0.1	68,254	2,301	5.5
計	92,409	41,463	100.0

Ⅳ. 湖沼

Ⅳ－１. 数および分布

スウェーデンにおける湖沼の数は確認されているもので92,409を数える。その面積は41,463 km²で国土の約9.2%を占める（図Ⅳ－１）。また、以前湖沼であったと確認されている窪地等は1,741を数える。表Ⅳ－１に湖沼およびその面積を示す。

分布状況は図Ⅳ－１に示したとおりであるが、それらの中でも特に大きいのは、南部の低地帯に集中するバーネルン（Vänern, 5,648km²）、ベッテルン（vattern, 1,899km²）、メーラレン（Mälaren, 1,122km²）、イェルマレン（Hjälmarén, 484km²）および中部のストルジョン（Storsjön, 464km²）、北部のトルネトレスク（Torneräsk, 330km²）等である。

これらの湖沼の成因は、大部分は氷河性であるが、メーラレン湖のように地殻運動も関係する湖沼も存在する。

Ⅳ－２. 湖沼の水温および結氷・融解

図Ⅳ－２に各地域（北部、中北部、中南部、南部の4湖沼）における湖沼の水温垂直分布を示す。冬季の最低水温をみると、各湖沼とも表面は結氷するので0℃である。しかし、湖底水温をみると水深50 m以上の湖沼は4℃であるが、それより浅い湖沼では4℃以下を示している。夏季における最高水温をみると、北部の湖沼 Saggatで表面は13℃、湖底で6.5℃、中北部のTälsjönで15℃と7℃、中南部のBergvikenで17.5℃と12℃、南部のIvösjönで18.5℃と7℃の値を示している。表面水温は南部ほど高温を示す。これに対して湖底水

温は深い湖沼で低温を示す。なお、変温層は水深10 m～20 mの位置に発達するが、南部ほど水温勾配は明瞭に現れる。

10km²～100km²以上の湖沼の結氷の時期は図Ⅳ－３に示すように、10月15日頃から11月1日までに北部の山岳地帯が結氷し、徐々に国土の中央部を舌状に南下し最終的には南部の湖沼地帯以南の湖沼が12月15日から1月にかけて結氷する。これに対して融解の時期は3月15日頃から4月の始めにカテガット海峡およびハネー湾（Hanöbukten）沿岸から融解し、5月中旬には山岳を除く中部まで融解する。そして、6月の中旬には北部山岳地帯も融解する。なお、10km²未満の湖沼は結氷、融解とも約半月早く現れる。

Ⅳ－３. 湖沼の酸性化

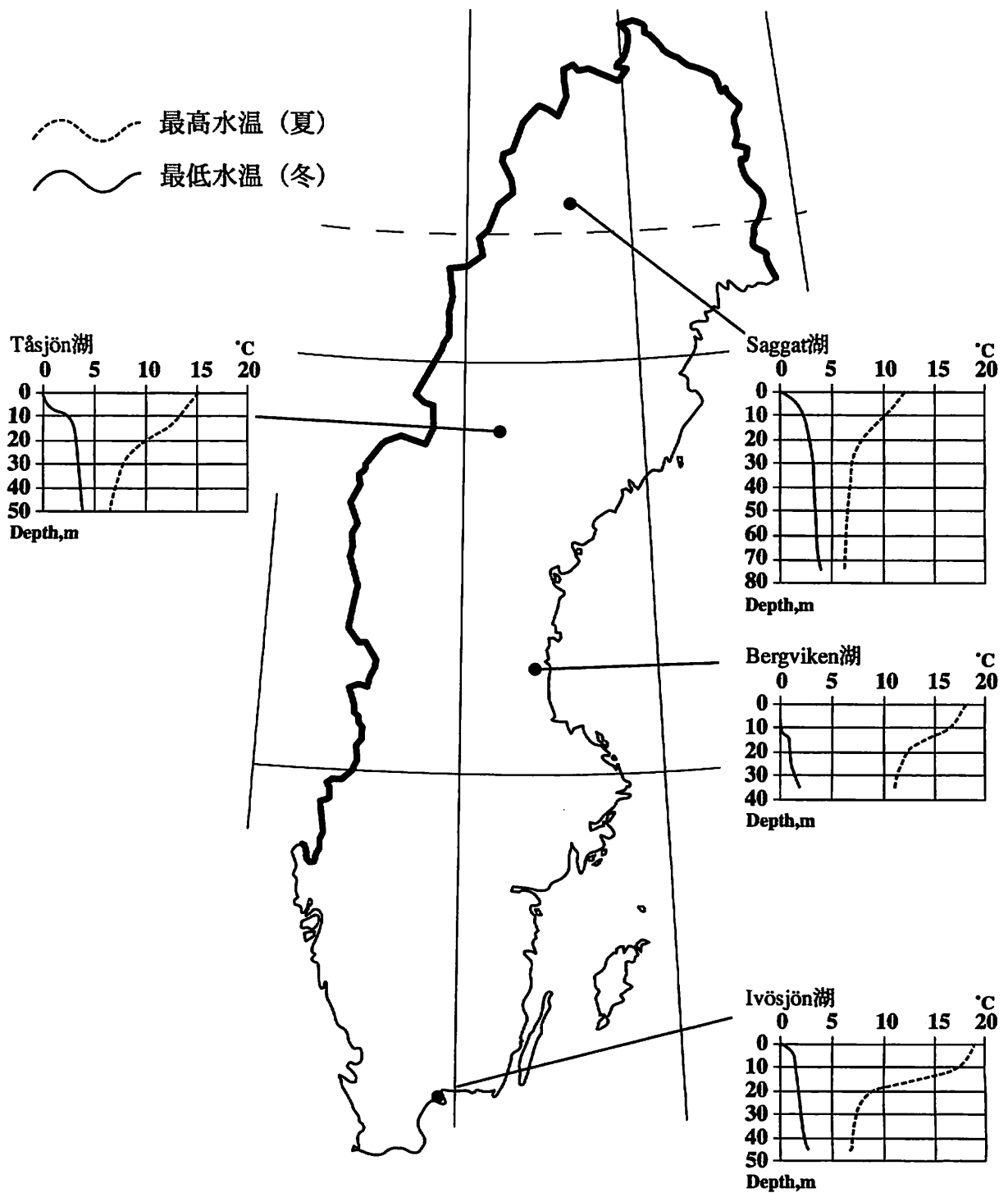
スウェーデンの湖沼では1950年代から1960年代にかけて徐々に硫酸成分が増加してきた。そして1970年代には17,000以上の湖沼が酸性を示すようになった。とくに、南西部のハルランド（Halland）地方では1970年代に湖沼の80%が酸性化した。1980年代には中北部の低地部の湖沼にも酸性化が目立つようになる。

pH値が6を示すようになるとザリガニを含めて甲殻類およびRoach（コイ科の淡水魚）などに影響を及ぼす。pH値が5.5になると酸性に比較的強いPike（カワカマス）やPerch（スズキの類）まで影響を被る。pH値が4.5以下では大半の魚類が死滅する。

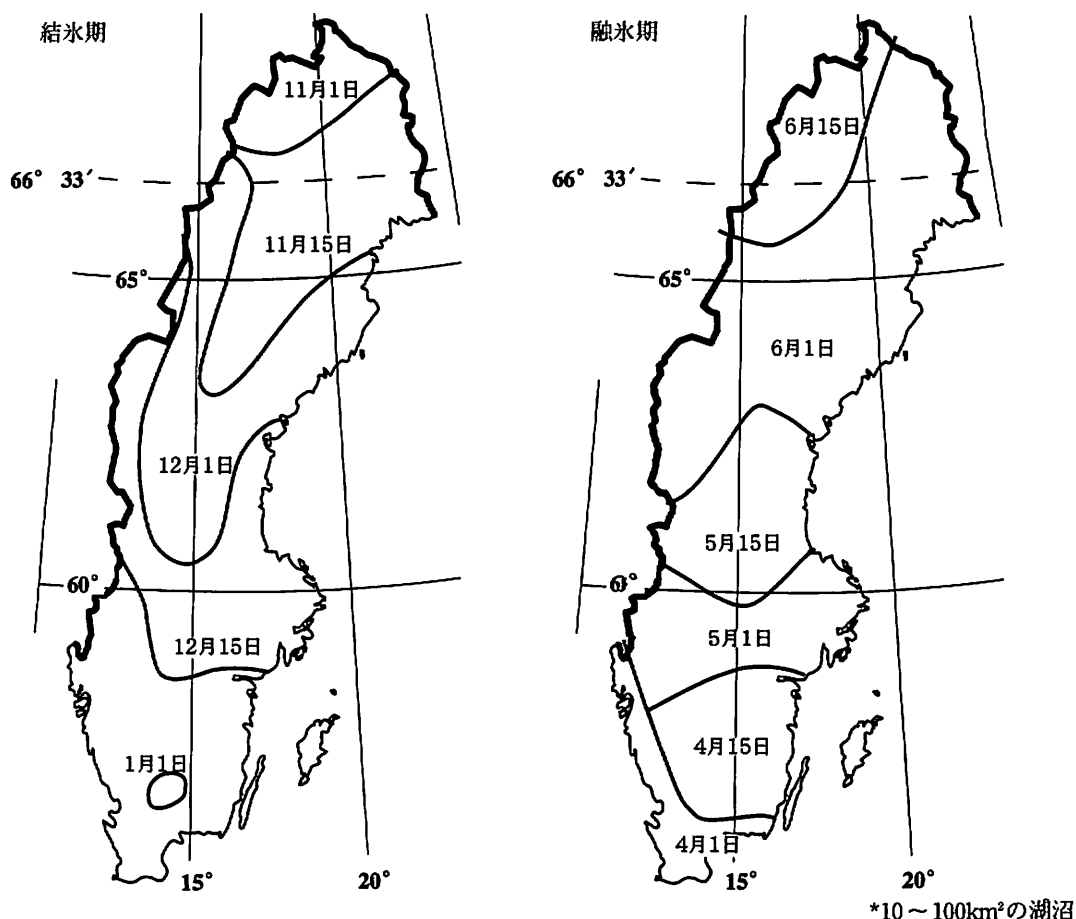
この酸性化の原因の大部分は大気からのSO_xやNO_xの降下物と考えられている（自然的な酸性湖沼もみられるが）。スウェーデンの湖沼の約20%は大気からと見積もられている。また、季節によってpH値の変動もみられる。とくに春季の融雪期および秋季の降雨時にはpH値は下がる。

スウェーデンではこの酸性化に対処するため、1970年代から石灰（石灰岩を粉末にしたもの）を年間20万m³、約6,000の湖沼および流入河川に散布している。その中和効果も徐々にあがっているが、しかし、小面積の湖沼を含めると、まだ13,000以上の酸性化した湖沼がある。

図Ⅳ-2 スウェーデンにおける湖沼の水温



図Ⅳ-3 スウェーデンにおける湖沼の結氷・融氷期 (1961～1990)



V. 流出

V-1. 降水量

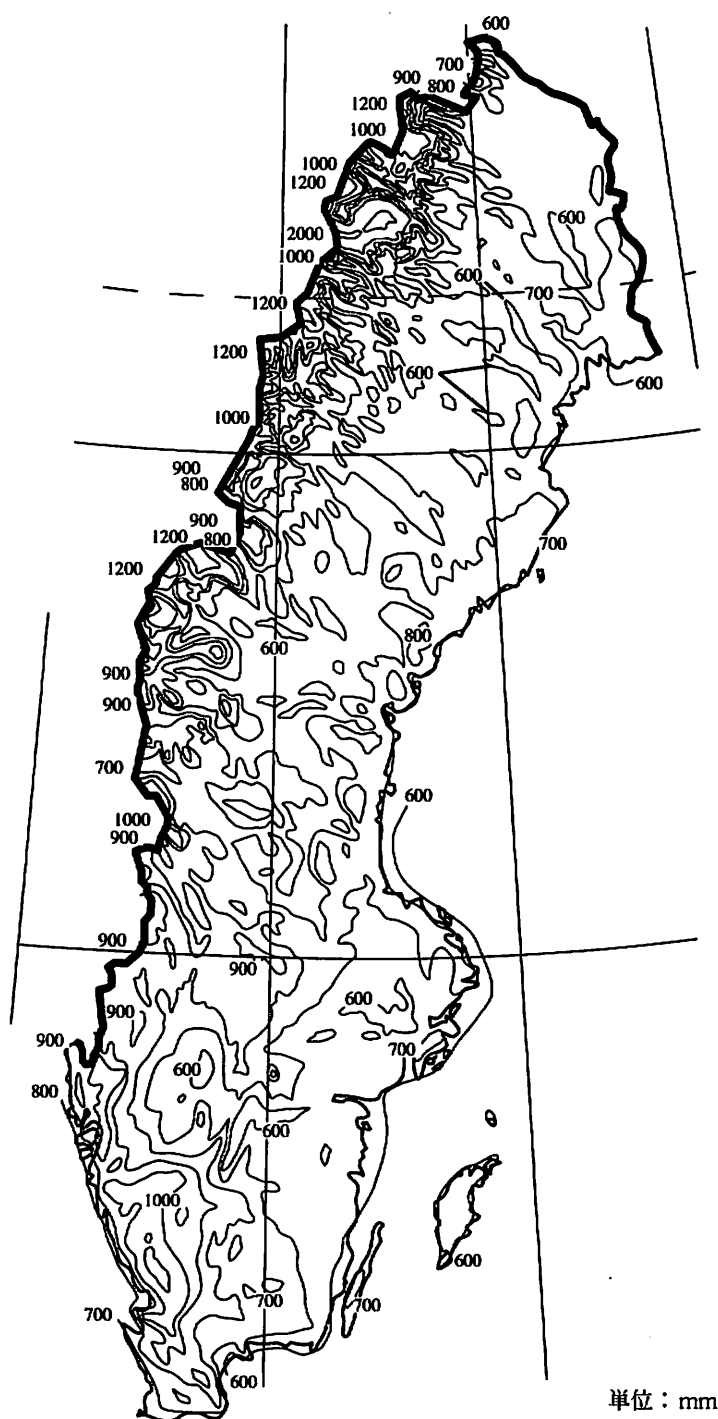
図Ⅴ-1に1961年から1990年の30年間のスウェーデンにおける年平均降水量を示す。気候の項で述べたように、スウェーデンにおける降水量は北部 (Lappland, Norrbotten, Västerbotten 地方) で500mm以下、中部で500～700mm (脊梁山地山頂付近では700～1000mm)、南部低地の西側 (Skåne, Halland, Bohuslän などの地方) で700～1000mm (東側は500～700mm) となっており、総じて北部および脊梁山地の雨陰になる地域の降水量は少ない。この降水量のうち、雨と雪の割合を示したものが図Ⅴ-2である。降雪は各河川における流出の時期に大きく関係する。積雪期間は主に10月～5月であって、1961年から1990年まで

の最大積雪深は北部や中部の脊梁山地で260cm～140cm、丘陵や低地部で140cm～120cmであるが、南部では100cm～40cmの積雪深を示す (図Ⅴ-3)。しかし、冬季間における平均積雪は、北部や中部の脊梁山地で130cm～90cm、丘陵や低地部で60cm～80cmで、大湖沼地域より南部は60cm～20cmの積雪深を示す。降雨、降雪を含めて降水量は総じて脊梁山地帯に多く、南東部で少ない。

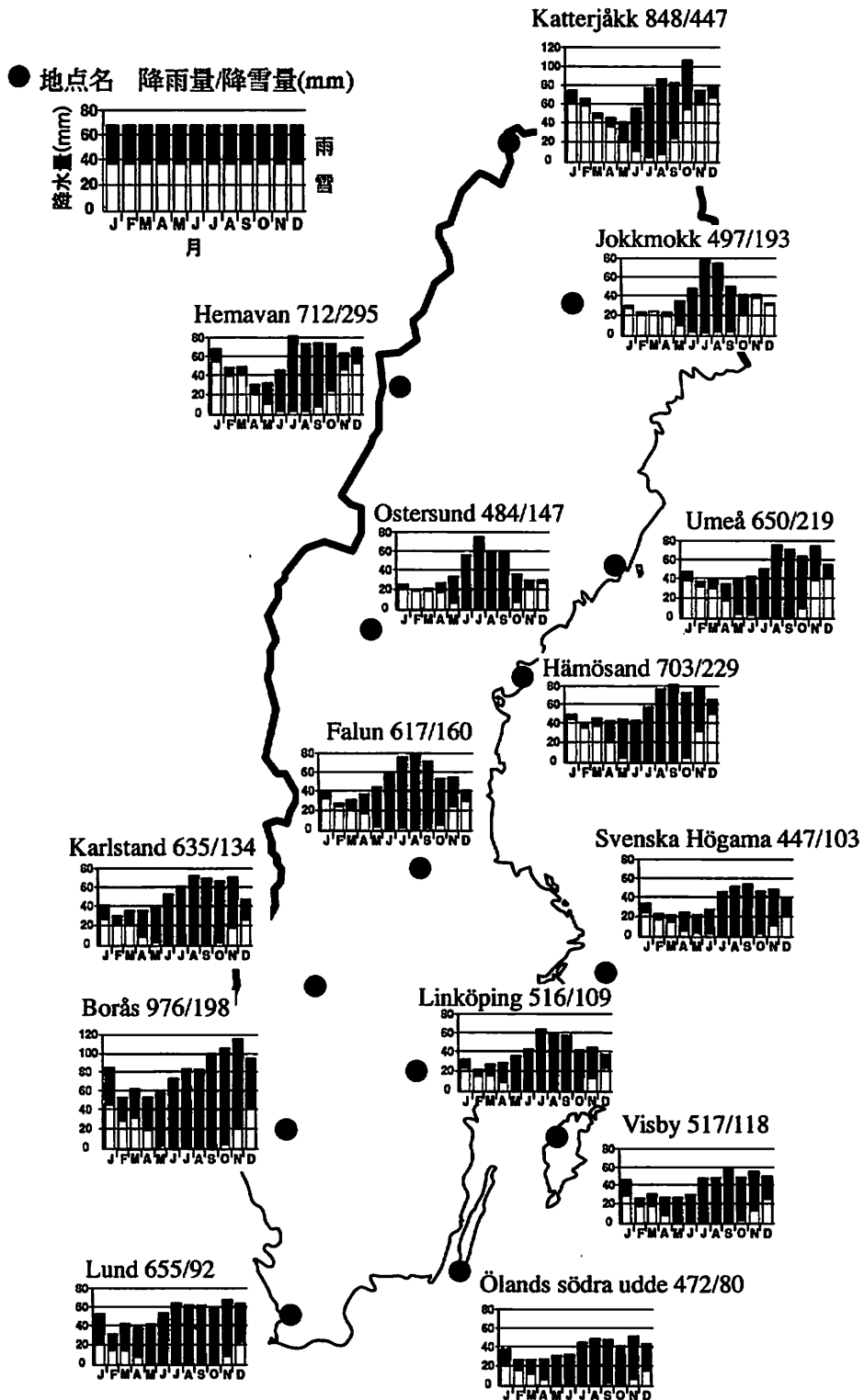
V-2. 蒸発散

図Ⅴ-4に1961～1990年における年平均蒸発散量を示す。500mm～400mmと比較的大きい値を示す地域は南部地域であるが、とくにベーネルン (Vänern)、ベッテルン (vattern) などの大湖沼からの蒸発は目立って周囲の土地より大きい。これは中部地域のシルヤン (Siljan) やストルショ

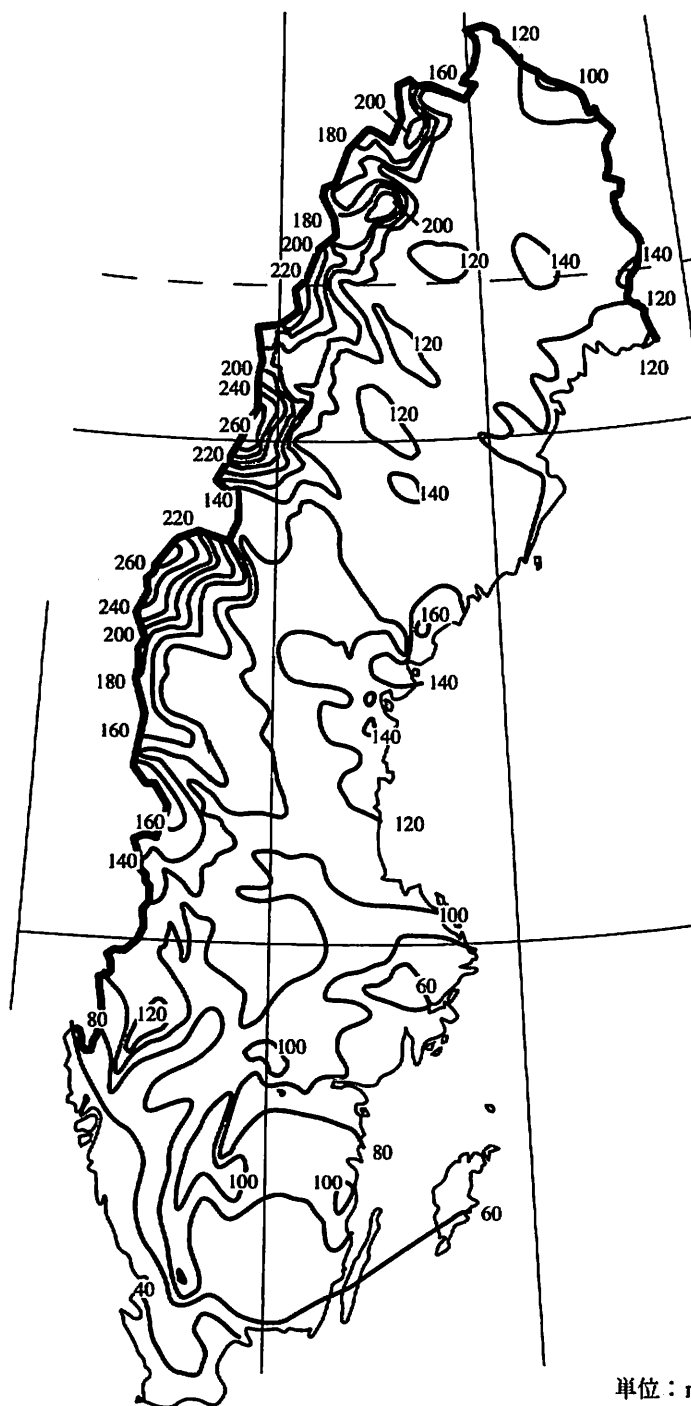
図 V-1 スウェーデンにおける年平均降水量 (1961～1990)



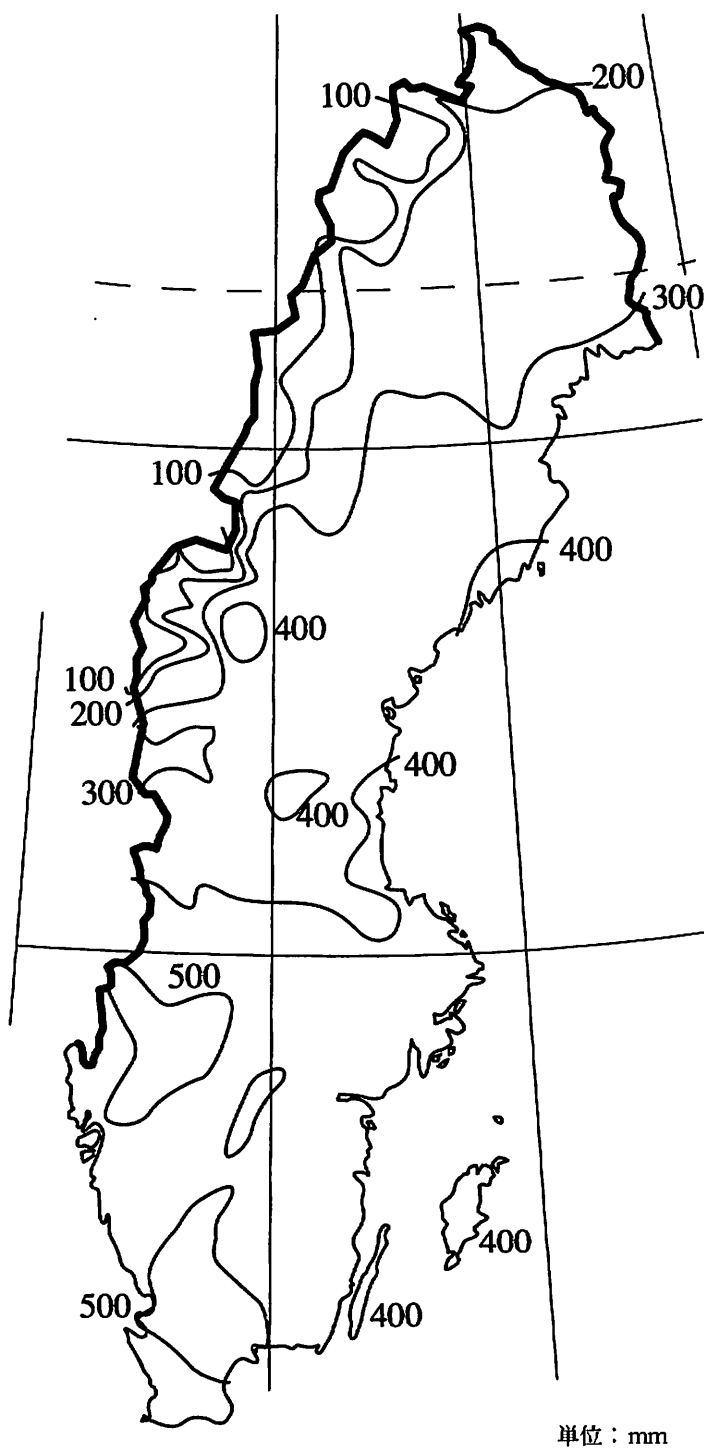
図V-2 スウェーデンにおける降水量（降雨と降雪比率1961～1990）



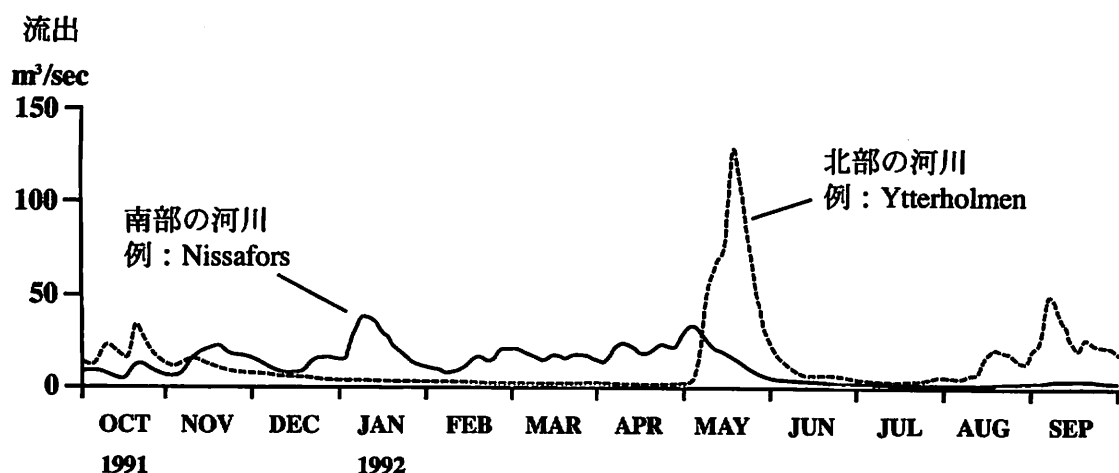
図V-3 スウェーデンにおける最大積雪深（1961～1990）



図V-4 スウェーデンにおける年間蒸発散量 (1961～1990)



図V-5 南北の代表的な河川における月別流出量



ン (Storsjön) などの比較的大きい湖沼も400mm以上の範囲を示していることから理解できる。すなわち、蒸発散は気温による影響が大きいのと、同時にスウェーデンでは植物の生理作用による蒸散は小さいと思われる。(中部以北では植物の生育期間は夏の数ヶ月間のみである)。湖沼からの蒸発にも地域差があり、そのピークをみると、蒸発量は別として南部地域の大湖沼地域では6月(約140mm)、中部地域では9月(約50mm)、その中間地域では7月(約110mm)となっている。蒸発量の小さい地域は北部で300mm以下であるが、とくに脊梁山岳地帯は200mm以下で山陵部は100mm以下である。

V-3. 流出

図V-5はスウェーデンにおける1991年10月から1992年9月までの北部と南部の河川流出形態を比較したものである。北部の中小河川、Råneälven沿いにある観測所 Ytterholmen と南部の中小河川、Nissan の Nissafors を比較すると、Ytterholmen は5月に約130 m^3/s と最大ピークを示し、次いで9月に約50 m^3/s のピークを示す。11月から4月および7月の値は極めて小さい。これに対して南部の Nissafors には大きなピークはみられず、1月の約40 m^3/s 、5月の約30 m^3/s が比較的大きく、流出量の極めて小さい6月から9月を除けば平均して10～25 m^3/s の間にある。この南北の相違は降雪期と融雪期に大きく関係している。図V-2に各

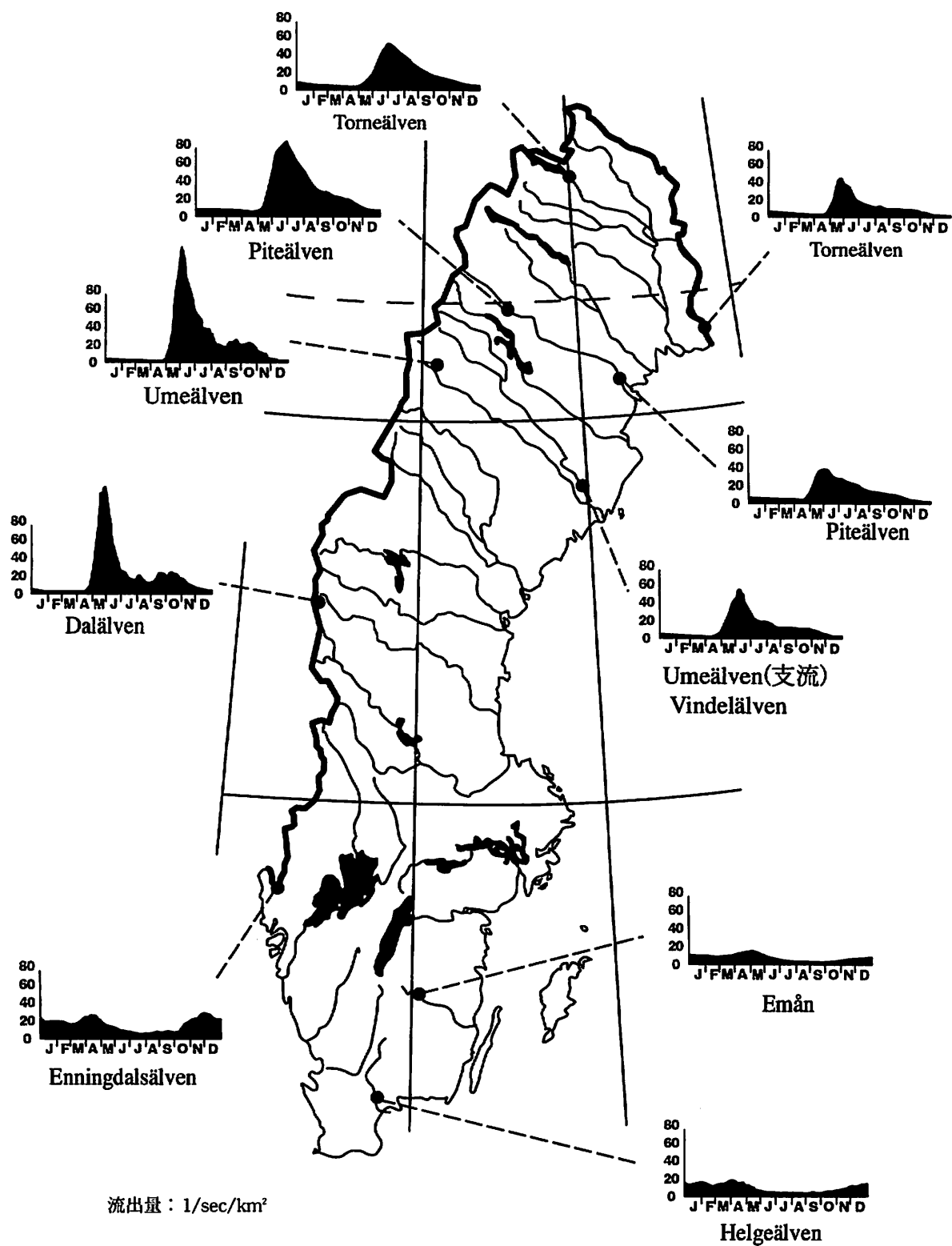
地点の年間降水量における降雨と降雪の比率を示したが、当然、北部および脊梁山地ほど降雪期間が長く、降水量に対する割合は高い。これに対して南部では降雪の期間は短く、降水量に対する割合は低い。

いくつかの河川の流出パターンを図V-6に示す。前述したようにパターンには南北で相違していることを示している。すなわち、北部および脊梁山地では融雪が5月に始まる(7、8月まで)。これに対して南部では降雪も少なく、気温も比較的高いこともあって、積雪と同時に融雪も起こっている。

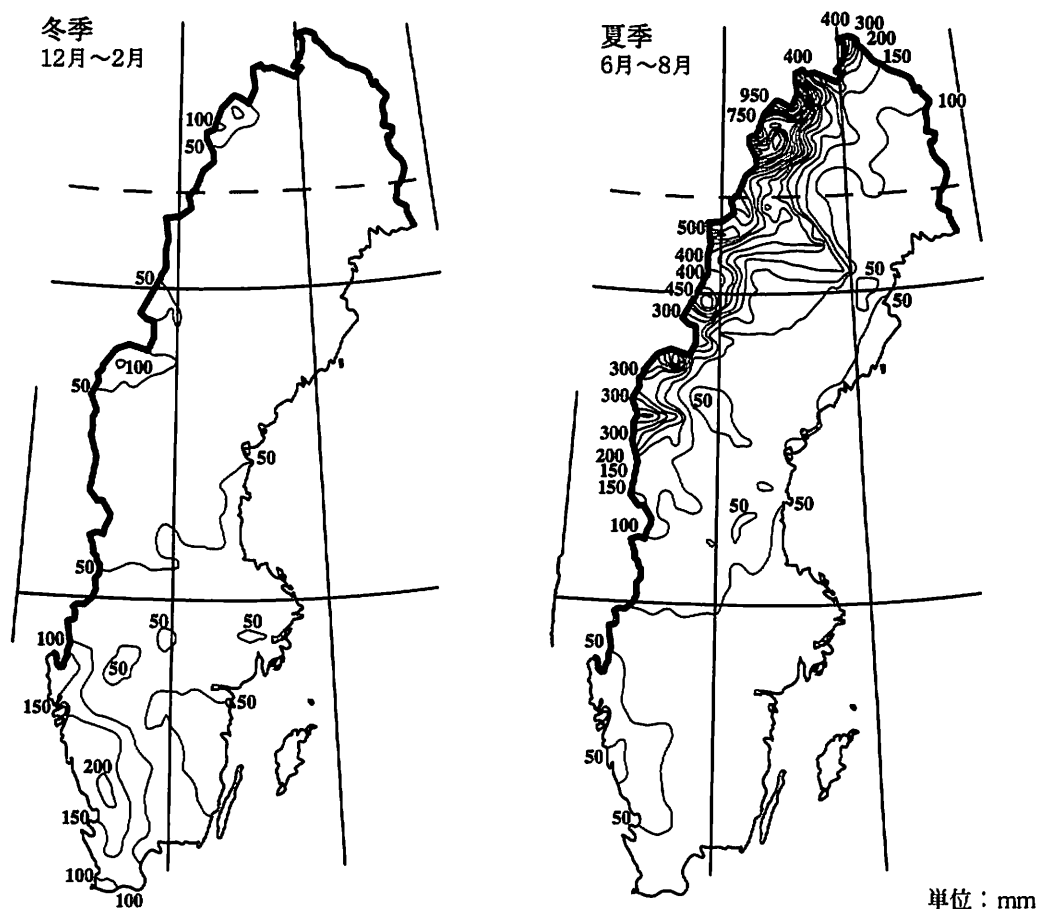
また、この図でわかることは河川の上流域(脊梁山地側)で単位面積当たりの流出量は多く、下流域(ボスニア海側)で小さい。このことは降水量に対して蒸発量が多いことも一因と考えられる。スウェーデンでの降雨は夏から秋(7月～10月)にかけて量的に多いが、蒸発散量も夏季に最大である。とくに夏の降雨は蒸発散するか、あるいは地下水を涵養せず上層の土壌を湿らせる程度である。これとともに各流域は湖沼面積の割合が大きく、湖沼からの蒸発量が極めて大きいこともあげられる。

図V-7に冬季(12月～2月)と夏季(6月～8月)の流出量を示す。冬季では南東部で100～200mm、中・北部の脊梁山地の稜線部の一部で100mmを示し、その他の広範囲では50mm前後と極めて小さい。これに対して夏季では中・北部

図V-6 スウェーデンにおける主な河川の流出



図V-7 スウェーデンにおける冬季・夏季の流出量



の脊梁山地およびその周縁部で150～300mm、稜線部で300～550mm、一部では800mm以上、1000mmを超える地点もある。

スウェーデン全体で流出量の年平均値をみると、降水量750mm、蒸発散量370mm、そして、流出量は380mmとなる。

VI. むすび

今回は「まえがき」でも述べたように、スウェーデンにおける河川、湖沼に関する多数の陸水文資料を得たので、これらの資料からスウェーデンにおける陸水環境の概要、とくに、流出形態について報告した。なお、今後は日本とスウェーデンの水質をはじめとする水文諸特性の比較について順次報告する（現在、資料を解析中である）。

最後に、1995年度の在外研究の機会を与えてくださった法政大学ならびに公私とも多方面にわたり便宜を与えてくださったスウェーデン国立農科学大学環境アセスメント研究所長Torgny Wiederholm教授、地球化学セクションのチーフであるAnders Wilander教授、および研究所のスタッフ、学生に心より感謝の意を表する次第である。また、ウプサラ大学自然地理学研究室より当研究所を紹介してくださったウプサラ大学名誉教授Åke Sundborg博士にもお礼申し上げる次第である。

※参考までにスウェーデンにおける洪水に言及する。

筆者（井上）がスウェーデンに滞在中、1995年6月1日から3日にかけて、急激な気温上昇と降雨

図 VI-1 1995年6月1日～3日の洪水に氾濫した河川 (EXPRESSEN1995. 6. 4)



によりスウェーデン、ノルウェーに大洪水が起きた。被害は住居の流出、耕地の侵蝕等でノルウェー南部地方で大きかったが、スウェーデンでも中・北部で多くの河川が氾濫し、とくにKlarälvenなどでは床上浸水、道路冠水等の被害があった。図VI-1に氾濫した河川を示す。この図はスウェーデンの日刊紙EXPRESSEN(1995.6.4)の原図をトレースしたものである。

例えば最北部の河川Torneälven下流では、年平均 $600 \sim 700 \text{ m}^3/\text{s}$ の値であるものが今回は約 $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ にもなり最下流の町Haparandaでは河川水位が $1.5 \text{ m} \sim 2 \text{ m}$ も上昇した。

大学内で聞くとところによると、一般にスウェーデンでは人口密度は低く($20 \text{ 人}/\text{km}^2$)、人口は都市に集中しており、とくに中・北部の河川沿いには人工物は少なく、春季の融雪洪水が起きても災害にはならない場合が多いが、今回のように急激な気温上昇による洪水は今後温暖化との関連で常に注意しなければならないとのことであった。

参考文献

1. SNA* (1994) 「Geology」 Sveriges Nationalatlas
2. Sveriges official Statistik Centralbyrå Stockholm (1987) 「Natarmiljö i Siffror」

3. SNA* (1995) 「Skogen」 Sveriges Nationalatlas
4. SNA* (1995) 「Klimat, Sjöaroch Vattendrag」
Sveriges Nationalatlas
5. SMHI** (1994) 「Sveriges Vatten」
6. SMHI** (1994) 「Avrinningsområden i Sverige」
7. Anders Wilander 他 (1995) 「The effects of lim-
ing on water chemistry」 Liming of Acidified
Surface Waters,
8. SMHI (1983) ** 「Svenskt Sjöregister」
9. Stig Nilsson (1994) 「Sänkta och torrlagda sjöar」
SMHI HYDROLOGI
10. 日刊紙 AFTONBLADET (1995. 6. 1)
11. 日刊紙 EXPRESSEN (1995. 6. 4)
12. 丸善 (1999) 「理科年表」

* Sveriges National Atlas

** Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska
Institut