

—報告—
Report

ラプテフ海・レナ川流域における水文学調査研究の予察報告

伊藤 一*

Reconnaissance for a hydrological research in Laptev Sea and Lena Basin

Hajime Ito*

Abstract: A preparatory field investigation was carried out in July and August 1999 in the Lena basin and in the Laptev Sea, Russia. The hydrology of the region including the sea ice on the continental shelf is an important element in the global water circulation. The results of the work are reported.

要旨: 1999年7・8月にロシア国レナ川流域およびラプテフ海において、地球規模水循環の観点から北極海大陸棚での海水生成を含めた水文学研究計画の準備的調査を実施した。調査結果を報告する。

1. はじめに

1999年夏、筆者は「北極海大陸棚海水の調査研究」のために、ロシアに二カ月半滞在した。そのうち一カ月を準備的な現地調査にあてた。調査により得られた知見を報告する。

北極海へ大量の淡水を供給しているロシア大河川のうち、今回、焦点を当てたのはレナ川である。対象流域の選択にあたってはレナ川の開発が遅れていることを考慮した。すなわち、現在までに実施された調査が他の流域に比較しても不十分である。また、自然条件が人工的な影響によりそれほど改変されていないので、研究対象として扱いやすい。

北極海の縁海の一つであるラプテフ海はレナ川河口に位置する。流域に河口延長上の浅海を含めて一体化して取り扱おうという構想の下にラプテフ海も今回の調査対象とした。ラプテフ海はレナ川自体に較べても、開発がさらに遅れていて、自然状態が保存されている。

2. 背景

2.1. 北極海

大洋は大きな水塊であり、絶えず運動をしている。これに陸水や大気中の水の運動が組み合わされて、地球水循環の系が形成されている。北極海はこの系において重要な要素をなしてい

* 国立極地研究所。National Institute of Polar Research, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

る。

北極域は地球熱循環の系において、熱の「積み替え所」として重要な機能を持たされているが、海水は熱の運搬媒体の一つであり、当該領域に位置する北極海の果たす役割は大きい。幾何学的に見れば、北極海は事実上グリーンランド海だけを出入口とする内海である。巨視的には、領域への降水を集めて北大西洋へ排出する一大集水域とみなすことができる。北極海へ注ぐ陸上の集水域は地球上全陸地総面積の10%に達する。水循環の系に対して、一定の性質を持った水を大量に供給する源として貴重な役割を果たしている。

この海域では海水の生成が活発に行われている。形成された海水の領域からの流出は、選択的な淡水の排除である。また、固体水の排出は負の潜熱の流出であるから、北極海へ水循環の系から熱が供給されていることになる。このように海水の生成という現象は、地球水循環の機構に密接に関係している。

2.2. 大陸棚

ユーラシア大陸の北側には広大な大陸棚が発達している。レナ川河口付近では、アムンゼンベイスが伸びてきているため比較的大陸棚の幅がせまいのであるが、それでも河口から大陸棚縁まで500 km程度の距離がある。

河川流出は数字だけを見ると少なからぬ印象を与えるが(北極海へ流入する全河川水はオーダーで $10^3 \text{ km}^3/\text{年}$ 程度である)、北極海の海水量(10^7 km^3 と推定)に比べれば微々たるものである。すなわち、もし河川からの流入淡水が一挙に北極海海水の全体と混合されるなら、北極海の海水特性はほとんど変化しない。

実際には、淡水は先ず大陸棚上で縁海の水と混合する。次に、混合により変成を受けた水が北極海中央部の海水と接触する、という2段階を経る。最初の段階では河川流出を受け入れ、次の段階では北極海へ流入するという二役を務めている大陸棚水量は 10^5 km^3 と推定される。それぞれの段階で水量の比較をすると、受け入れ側に比較して無視できないだけの水量が流入していることがわかる。

2.3. 海水

レナ川が流入している縁海はラプテフ海である。ここでの混合過程を特徴づけるものは海水の生成である。海水に対して温度・塩分ともに異なる値を持って流入する淡水が、海水の生成機構に強い影響を及ぼしている。このような生成過程だけではなく、生成物としての海水の存在やその運動がラプテフ海水の特性を規定する重要な要素となっている。

2.4. 研究計画案

筆者らは上述のような観点から、レナ川とラプテフ海を一つの系と考え、系内の水の挙動や

系外との相互作用を学際的に調査する総合調査計画を考えている。この度、準備のために現地において予察を行う機会が与えられた。

3. 現地調査

3.1. 行程

調査隊員はロシア北極南極研究所および日本国立極地研究所から各1名、総員2名である。両名は全行程同一行動を取った。ロシア国内の根拠地である北極南極研究所の位置するサントペテルブルグ市発着の行程と調査隊員を記す。(図1参照)

行程

1999年	(括弧内はレナ川河口からの距離)	
7月20日	サントペテルブルグ発	車中泊
7月21日	モスクワ着, 同発	機中泊
7月22日	チクシ着	チクシ泊
	チクシにおいて調査	チクシ泊
7月28日	チクシ発	船中泊

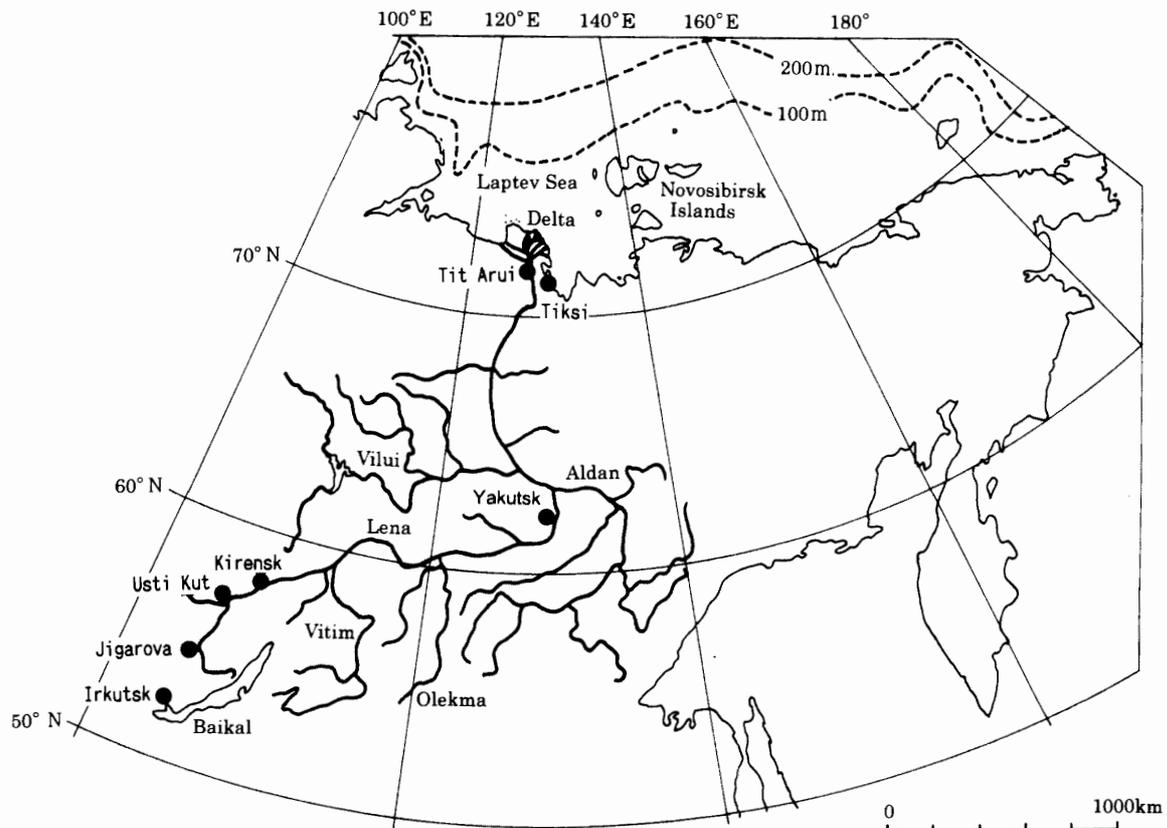


図1 レナ川流域とラプテフ海
Fig. 1. The Lena basin and Laptev Sea.

	レナ川三角州調査	船中泊
8月 3日	ティトゥアルイ通過 (49 km)	船中泊
	レナ川下流調査	船中泊
8月 8日	ヤクーツク着 (1491 km)	ヤクーツク泊
	ヤクーツクにおいて調査	ヤクーツク泊
8月 10日	ヤクーツク発	船中泊
	レナ川中流調査	船中泊
8月 18日	ウスチクート着 (3479 km)	ウスチクート泊
	クート川分水嶺調査	ウスチクート泊
8月 20日	ウスチクート発ジガロバ着 (3821 km)	
	レナ川上流調査その1	ジガロバ泊
8月 21日	ジガロバ発イルクーツク着	
	レナ川上流調査その2	イルクーツク泊
8月 22日	イルクーツク発サントペテルブルグ着	—

調査隊構成

伊藤 一, 日本, 国立極地研究所

イリアナ・シェブニーナ, ロシア, 北極南極研究所

3.2. 自然条件

3.2.1 レナ川概要

レナ川は全長 4400 km, 長さを基準にして世界 9 位の大河である。ウラル山脈の東側, つまり北ロシアの中部から東部へかけては平坦な地形が展開している。そこに 3 本の大河がそれぞれ南から北へ流れていて, いずれも北極海へ流入している。レナ川は 3 川のうち最も東に位置する。流域 $2.425 \times 10^6 \text{ km}^2$ の大半はサハ州 (州面積 $3.1032 \times 10^6 \text{ km}^2$) に位置する。河口での流量は $500 \text{ km}^3/\text{年}$ と推定されている。流量の季節変動が大きいので, 平均流量を直接使用して議論する機会は少ないが, これは $16300 \text{ m}^3/\text{秒}$ に相当する。

11 月から 5 月半ばまでは流域が凍結しているため, 流量は年平均流量の 10 分の 1 程度である。5 月末に融解とともに洪水が起こる。ピーク流量は年平均流量の 10 倍, つまり冬季流量の 100 倍に達する。洪水は上中流の土砂を浸食し, 下流へ運搬する。年間排出土砂量は $15 \times 10^9 \text{ kg}$ と推定されている。河口付近の海が浅いこともあって, 年々堆積した土砂が大きな三角州を形成している。この三角州は大小 1500 の島 (州) からなり, 水面を含めた総面積は 32000 km^2 と計測されている。

以下, 海から川を遡り, 上流へ向かう順に流域を区切り, 自然条件をその順に記述する。なお, 研究対象としての自然の予察を報告するだけでなく, 調査実施にあたって物理環境を形

成する自然諸条件についての情報も述べる。

3.2.2 ラプテフ海

ラプテフ海では漁業や地下資源の探査が活発には行われていない。自然の状態が現在にいたるまで保存されている貴重な海域である。底引き網による係留系破損など設置機器への人為的な危害も最小限に見積もることができ、観測技術上も好条件に恵まれている。

8・9月は船舶が航行できる。11月から6月までは水上車両を使用することができる。ただし、大陸棚の末端近くには東西に走るシベリアポリニアが発達するため、車両の運行はポリニア以南に限定される。逆に、船舶を夏季にポリニア域まで運びこんでおけば、船舶による冬季観測も可能である。

全域にわたり浅海であり、同一の観測手法を調査領域の全部にわたって適用することができる。また、喫水の大きな冰山は域内へ流入できない。係留系の最上部は多年氷リッジのキールぎりぎりの水深に設置しても大きな危険を伴わない。

3.2.3 三角州

三角州は地形学的にまた生態学的に無数の興味深いテーマを内蔵する研究対象である。しかしながら、三角州の地形は複雑である。また極度に不安定であり、刻々変化している。つまり三角州の形は動的に複雑であると形容できる。形状に直接・間接に依存するあらゆる要素が常時変動を続けていることを示している。水文学的な観測を通常の形態で計画すると、実施にあたり技術的にさまざまな困難が予測される。

上に挙げた学問分野などと協同で三角州自体を精密に調査することができれば興味深い。これだけで大規模な計画に発展することが予測され、相応する成果も十分期待できる。全体計画の中でも重要な要素として捉えられるものと思われる。

三角州の“出入口”だけを押さえて、三角州をいわゆるブラックボックス化するのも一つの方法である。三角州をラプテフ海—レナ川水系の一構成要素と捉え、系への寄与だけに着目すれば、このようなアプローチも可能である。複雑な三角州を直接取り扱うことを避けることができ、また、大半が自然保護区に指定されている三角州に手を触れず、自然状態のまま置いておくことができる。

3.2.4 レナ川下流

海と川の特徴を併わせ持つ水域をエスチュアリと呼んでいる。通常は塩分が分類に際しての指標として用いられる。すなわち定常的には海水ほどの塩分を持たないし、淡水でもない水域がエスチュアリと定義されている。ここでは、塩分の多少によらず、当初の定義に戻って、海と川の特徴を併わせ持つ水域を(広義の)エスチュアリとしてみよう。

レナ川下流、特にビールウイ川合流地点よりも下流では運動学的に海と川双方の特徴が見られる。海面が二次元平面に展開しているのに対して、一般に河川は一次元に延びていて、その運動は曲線上に拘束されている。しかし、レナ川下流は川幅が6 km程度にまで広がって

るため、河川軸を横切る方向への運動成分も見られる。水の運動だけではなく、水面上の大気も十分な吹送距離のために横断方向にも水を駆動している。部分的には反流、つまり上流へ向かう運動も見かける。すなわち、レナ川下流の水は平面内を運動している。このようなエスチュアリの運動学は非常に興味深いものである。

観測技術的には、海と川双方の観測機器や手法が必要とされる。これはまた、双方の機器・手法が活用できるということでもある。航行可能期間は融氷の早い川上ほど長くなるが、ヤクーツク付近で6月から10月半までである。結氷期には車両を用いて川の上を走行することが可能である。

3.2.5 レナ川中流

中流部およびその区間で合流する主要支流は平坦な地形を流れる大河として研究対象となる。特に、レナ川が他の河川に比べて人為的な影響をそれほど受けていないことから、有利な研究環境が期待できる。

工学的な基礎的調査が進められているのも、中流部の特徴である。しかしながら、その目的は水運や水資源開発など具体的かつ限定されたものであるから、既に調査された項目はかなり偏っており、新規に計画する調査と重複・競合する可能性は低い。測量・測水などの基礎データを入手できることを併せて考えると既存研究は現計画にとってむしろ有益である。

レナ川中流は、陸水学としてそれ自体が研究対象であるが、全体計画としては、下流域および縁海への入力としての役割を重視したい。レナ川は複数の大支流を持つ。合流点よりも上流でそれぞれの河川の特徴を個別に調査することができる。異なった特徴を持つ各支流からの水が順次混合されて下流域へ流れ込むことから、下流へ及ぼす影響を各支流ごとに分離して解析できる。

3.2.6 レナ川上流

歴史的に見れば、レナ川は上流から下流へ向かって開発されてきた。それにもかかわらず、現在上流域は人工的な影響からもっとも遠く離れていて、自然状態が高度に保存されている。

レナ川上流は河川環境学的に良好な調査地域を提供しているが、海までの距離があまりにも遠く、ここで問題としている水系全体への直接的な影響は少ない。レナ川中流へ流れ込む支流の一つとして取り扱っておいて、支障がないものと思われる。

3.3. 設営

3.3.1. 船舶

チクシがこの領域で唯一の海港であり、港湾設備も整っている。しかし、現在、外海で使用できる船舶は配置されていない。アルハンゲリスク、ムルマンスクあるいはウラジオストックから回航する必要がある。いずれの港からも片道1・2週間程度の航海である。

沿岸で使用できる船はチクシに1隻だけ係留されている。100トンの元水路部の観測船ドゥ

ナイ号で、乗客7人を乗せて最大10日の航海ができる。観測・生活設備は最低限のものを船上に備えている。

三角州や河川での観測に使用できる船舶はチクシに4隻存在する。そのうち水文観測所所属のブリーズ号を例に挙げると、89トン、乗客4人を乗せて、3・4日航行できる。他の3隻も同程度の規模である。

ヤクーツクには川港があり、多数の川船が配置されていて、比較的大きな船も入手可能である。一例としてアルゴ号を挙げる。150トン、9名の乗客を乗せて、9日の航行が可能である。レナ川の河口、つまり三角州が始まる地点はストルプと呼ばれているが、ここまでの回航所要日数はチクシ、ヤクーツクからそれぞれ1日、4日である(図2)。

キレンスクやウスチカートなどヤクーツクよりも上流にいくつか川港があり、それぞれ多数の船舶を置いているが、三角州や下流での使用に耐えるものは少ない。

3.3.2. 氷上車両など

氷上車両の現存台数や入手可能性については未調査である。また、ヘリコプターは現地に常駐していないので、その都度持ち込む必要がある。

3.3.3. 観測所

既存データについては別に述べるが、ここでは観測基地としての使用可能性、つまり設営面から領域の観測所を検討する。

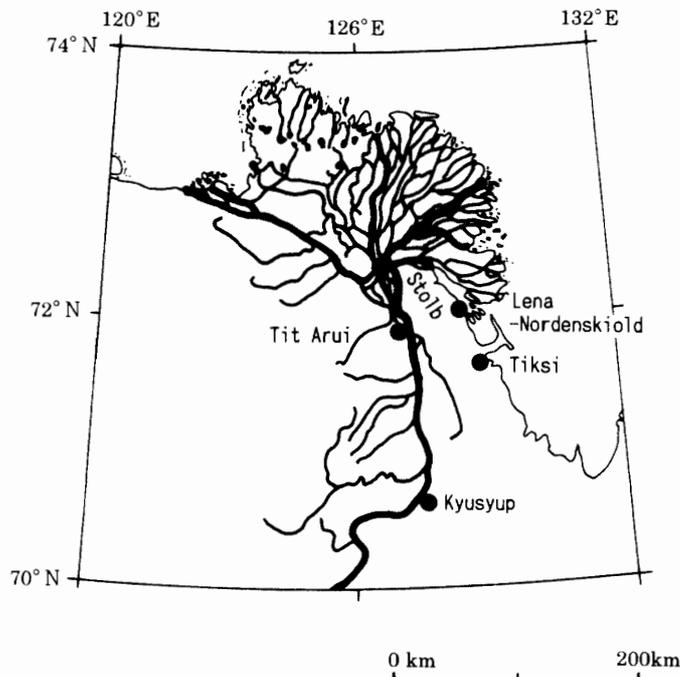


図2 レナ川下流と三角州
Fig. 2. The Lena Delta.

チクシには、市内に地球宇宙物理研究所と気象水文観測局があり、郊外にそれぞれ観測所を持っている。既に GAME (全球エネルギー・水循環研究計画, アジアモンスーンエネルギー・水循環研究観測計画) の研究者がこれらの設備を活用しているので、詳細はその報告 (Hiyama, 1998) に依ることとし、ここでは記述を省略する。

気象水文観測局がストルプ、キシュールに常設水文観測所を維持しており、その施設を利用できる。また、ノボシビリスク諸島など数カ所に常設気象観測所を維持しているが、今回の調査では訪問していない。

三角州の縁、チクシとストルプのほぼ中間点に国際生物観測基地「レナ・ノルデンショルド」がある。1995年に開設されて以来、特に夏季には活発に使用されているが、定常的には無人である。国際共同研究の形での施設の使用は歓迎される。

ビールウイ川合流地点よりも下流には、この他に 10 前後の小集落が存在し、緊急避難所としては使用が可能である。

以上は下流での情報であるが、中・上流部にはある程度の設備を備えた集落が点在しているので、基地として既存観測所に依存する必要はない。

3.3.4. 交通・通信

空路はヤクーツク、チクシへモスクワからの定期便がある。それぞれ週数便、月に 2-4 便程度の頻度である。(ヤクーツクへは、チクシ、イルクーツク、ウラジオストック、ハバロフスクからの便が運行される時期もある。) 海路の定期便は運行されていない。ヤクーツクへはハバロフスクから道路があるが、そこから上流へも下流へも道路は通じていない。レナ川に沿って夏季には川船の定期運行がある。1-2 週間に 1 便の頻度である。冬季には不定期に氷上車両の運行があるが、チャーターに近い形態であって公共交通手段ではない。

ヤクーツクより上流の町とチクシには電話が通じている。下流・三角州の基地や集落は VHF 以外の通信設備を持っていない。近隣の船舶との交信を除いて、通信手段がない。このあたりだけを航行している船舶は、VHF 以外の通信機器を備えていないものが大半であり、船舶を中継にすることもできない。

3.3.5. 物資

ヤクーツクおよびそこから上流の大きな町では、一般的な資材については、ほとんどあらゆるものが入手可能である。チクシでは限られた物以外は調達できない。ヤクーツクよりも下流のそれ以外の集落では一切何も入手できないと考えた方がよい。

3.4. 既存資料

3.4.1. これまでに実施された観測・調査

ラプテフ海では 1970 年代まではソ連単独で、領域の調査が実施されている。成果もそれぞれ発表されているので、ここでは詳細を述べないが、Kassens *et al.* (1995) 記載の文献を参照さ

りたい。また、合衆国（コロラド大学）の協力により1949年から1993年までに取得した海洋観測資料を要旨集の形で出版するための準備を行っている（ロシア側担当：北極南極研究所）。

近年の観測は国際共同の形を取っているものが大半であるが、数は少ない。沿岸で実施されたロシア環境研究所の生態調査、INSROP（北極海航路に関する国際プロジェクト）の際の航海調査（Kitagawa, 1996）を除いては、1992年から1999年まで実施されているドイツとの共同研究がラプテフ海では唯一のものである。この共同研究計画は、毎年夏に航海観測を行っている。またヘリコプターを使用した4・5月の観測も1回実施されている。両国の合意により、現在のところ生データは公開されていないが、成果の一部はKassens（1999）に発表されている。

三角州も1960年代までソ連研究者により調査がなされていた。その後、三角州で国際共同観測が開始されたのは1992年である。国際生物観測基地「レナ・ノルデンショルド」の開設に併せて、生態学を中心とした現地観測が毎夏続けられている。文献リストは入手していないが、WWF（世界自然保護基金）が照会先である。

レナ川流域のソ連時代の研究は、例えばAntonov（1967）にとりまとめられている。（表題からは下流と三角州に限定した書物であるかのように思われるが、レナ川流域全体を取り上げている。）工学的な観点からのまとめには、例えばChistyakov（1964）がある。

川を直接の対象とした近年の国際共同研究については情報を耳にしていない。上述のGAMEやアエロゾル（Fukasawa *et al.*, 1997）、凍土（Mori *et al.*, 1998）、国立極地研究所の積雪（藤井理行，私信）調査など、流域内で水文学に関連した分野の国際共同調査は実施されている。

3.4.2. 定常観測資料

当該領域内には多数の気象水文観測所が設置されていて、長年にわたり基本的な要素の定常観測が行われている。

水文資料はチクシ、ヤクーツク、イルクーツクの気象水文観測局にそれぞれの管内で取得した資料がそのままの形で保存されていて、現地を訪問すれば閲覧できる。月平均流量など要約された資料は年報などの形で出版されている（例えばState Water Survey, 1987）ので、遠隔地においても概略資料を入手することができる。ただし、出版までにかかりの時間がかかっているため、最近の資料は入手困難である。1999年夏の時点で、レナ川流域の最新の年報は1991年版であった。気象資料についても同様である（最新年報は1990年版）。ただし、天気予報に使用される観測所/項目については即時モスクワの本庁に通報されて集積されている。

4. 展 望

ヨーロッパ連合の設立・強化に伴い、欧州諸国とロシアの共同研究の対象として「ヨーロッパ北極」、つまりタイミール半島以西に重点を置こうという方針が唱えられている。このよう

な縄張り意識自体を必ずしも健全なものとは思わないが、結果として放置されることになる「アジア北極」を担当するのは、日本の使命であるとも考えられる。十分な準備を重ねて、ラプテフ海—レナ川研究計画を実現したい。多機関の協同観測により、多岐にわたる学問分野での調査が期待されるが、降水起源の淡水が北極海の海水に取り入れられるまでの過程・機構の究明を主題とする。調査手段としては人工衛星や航空機による遠隔探査も動員するが、船舶・氷上車両・潜水艇により至近距離から行う観測の重要性も見直したい。

調査にあたり、協力を頂いた皆様に、個人名をあげないが、深く感謝する。調査費用は平成11年度在外研究員(創造開発研究)派遣計画から受領した。

文 献

- Antonov, B.C. (1967): Mouth Region of River Lena (in Russian). Leningrad, Gidrometeorologicheskoe Izdatelstvo, 106 p.
- Chictyakov, G.E. (1964): Water Resources of Yakut's River. Moscow, Nauka, 162 p. (in Russian)
- Fukasawa, T., Ohta, S., Murao, N., Yamagata, S. and Makarov, V.N. (1997): Aerosol observations in the Siberian Arctic. Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol., **11**, 150-160.
- Hiyama, T., ed. (1998): Activity Report of GAME-Siberia, 1998. GAME Publication No. 14. Japan sub-Committee for GAME-Siberia.
- Kassens, H., ed. (1999): Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic; Dynamics and History. Berlin, Springer, 711 p.
- Kassens, H., Piepenburg, D., Thiede, J., Timokhov, L., Hubberten, H.-W. and Priamikov, S.M., ed. (1995): Russian-German Cooperation: Laptev Sea System. Ber. Polarforsch., **176**, 387 p.
- Kitagawa, H., ed. (1996): Northern Sea Route; Future & Perspective. Tokyo, Ship and Ocean Foundation, 687 p.
- Mori, S. *et al.*, ed. (1998): Proceedings of Sixth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russian in 1997. Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute. Sapporo. 28-29 January 1998.
- State Water Survey (1987): Annual data of regime and surface land water resources. Year 1985, Vol. I, No. 16, Obninsk 1987 (in Russian).

(1999年12月9日受付; 2000年2月7日改訂稿受理)