



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	日本の海水研究概観
Author(s)	楠, 宏; KUSUNOKI, Kou
Citation	低温科学. 物理篇, 12, 145-159
Issue Date	1954-03-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17883
Type	departmental bulletin paper
File Information	12_p145-159.pdf



綜 説

日 本 の 海 氷 研 究 概 要*

楠 宏

(低溫科學研究所 海洋學部門)

(昭和 29 年 3 月 受理)

I. は し が き

“海氷”という言葉は海洋に存在している氷に廣く名付けられている。海水の直接凍結して生成した海水の他に、氷山や河川、湖沼などの淡水氷が海に流れ込んで海上に浮遊しているものも海氷と呼ばれている。わが國の近海では一オホーク海、日本海北部、太平洋西北部一海水といえ、第1にあげた海水の凍結によつて生じたものが多い。勿論、河川からの淡水氷も多少は海中に流出することもあろうが、その量は問題にならない。オホーク海はその強力な發現地となつている。日本近海の海氷は、殆んど北海道オホーク海沿岸で見られる。春先になると、流氷として太平洋沿岸にも流出し、稀には日本海北部の利尻、禮文島附近に現われる。現在まで、冬のおホーク沿岸は冬眠状態に入るのを常とし、航海、漁業など一切の海上活動は停止してきた。最近、氣象臺、燈臺、水路部などで海氷に関心を持ち、流結氷の豫報が行われるようになった。冬季のおホーク海上の賑やかになる日が願われる次第である。

筆者は海氷に興味をもつてきたが、その間抄覽することのできたわが國の海氷研究の報告を基にして、發展の跡を振り返つてみたいと考える。現在海氷の研究で最も注目される問題點について充分の批評を行ないたいが、淺學のため仲々の重荷である。他日を俟つて行ないたい。従つて、日本の海氷研究の歴史的な概觀を中心にして述べてみたい。歴史的な考察を試みておくことは、われわれの今後の發展のために無駄ではあるまいと考えられる。既に現在まで、わが國の海氷の研究は約 70 篇近くの報文となつて現われている。その各々に充分検討を加え得ない點があるものと思われるが、この點については各位の御海容を願う次第である。

日本の海氷研究の發展をたどる前に、世界的な流れを簡單に見てみることにする。

II. 諸外國の海氷研究の概觀

海氷の研究は、極地探檢の歴史と密接な關係がある。既に 10 世紀頃に昔のスカンジナビヤ人が凍つている海へ航海を企てたといわれる。16 世紀には Davis 海峽が發見され、續いて

* 北海道大學低溫科學研究所業績 第 256 號

Frobisher, Davis, Hudson, Buffine 等の名を冠した灣や海峡が大西洋の北部で発見された。次いで捕鯨漁業の發展とともに、1600年の初め頃はオランダ人、1800年代にはイギリス人の捕鯨漁業者の海水に關する報告がある。この頃から近代的な地理探検が行なわれ、極地への關心が高まつた。吾々に良く知られている極地探検は皆海水について報告している。以上は北極地方に關してであるが、海水の主要な研究はこの地方で行なわれてきた。これらの地方の海水は既に述べた海水の凍結したものが大部分ではあるが、グリーンランドやカナダ北部の島の氷河から送り出される氷山もある。氷山は大西洋の航海に大きな障害を與えており、現在「International Ice Patrol」という組織でその監視に當つている。

一方、北極海に長い海岸線を持つソヴェトでは、1900年代から北氷洋の航海に關心を持ち、北氷洋航路總局(Glavsevmorput')が積極的な活動をしてきた。そして航海の外に北氷洋の中心地帯での研究もある。近年北氷洋は交通、氣象、海洋など各方面から新らしく注目をあびている。

南極地方の氷については、Ross barrier と呼ばれる J. Ross の発見による大氷壁(Shelf ice)がある。これは南極大陸に積つた万年雪に起因する陸氷である。勿論、高緯度の海面には海水も生成される。現在まで數々の探検が行なわれ、特に Shelf ice についての研究がなされた。

非常に簡單であるが、極地の海水について、云はば地理學の見地から述べたが、海水の基礎的な性質については、觸れなかつた。海水の性質については、初めて北氷洋をロシア沿岸に沿つて大西洋から太平洋への航海の時に研究された。即ち、A. E. Nordenskjöld の“Vega”號探検(1878-1879)に際して乗組んでいた Otto Pettersson (1883)⁷⁾が海水の物理的性質に注目している。即ち、海水は、良く知られているように、純氷と濃縮された鹽類溶液(ブラインと呼ばれる)とから成立つている。結局海水の物理的性質はこのブラインの舉動を明らかにすることにある。海水の物理的性質がそれに含まれる鹽類に支配されるのと同様に、海水のそれも鹽分量(Salinity—ブラインに起因する)に關係しているわけである。初期の研究はこのブライン、或いは海水の鹽分について種々行われている。また、海水の鹽分については現在でも更に研究の對象になつている。

海水の物理的性質については、Ringer (1906)⁸⁾が實驗的に海水を凍結させ、種々の鹽類の析出する温度や、氷、固体鹽類、殘留母液などの組成を求めている。今日まで得られた中での最も詳細な研究は、“Maud”號の北極探検の時に、Malmgren (1927)⁹⁾が得たものであろう。彼は海水の鹽分量を初めとし、比重、熱傳導度、比熱、熱膨張係數等の諸性質を求めている。彼の結果は現在多くの著書に引用されている。しかし、彼の研究では、海水は純氷とブラインの二成分の物質として取扱われていて、天然に存在するものをよく觀察してみるとガス含有量も可成りの値をもつている。そこで海水の多孔度や空氣量が、特に熱的、光學的、力學的等の海水の諸性質にどう影響しているかを Arnol'd-Alyab'ev (1931)¹⁰⁾その他によつて求められている。こ

のような點でも海水の基礎的諸性質に対する研究の餘地は残されている。また海水の物理的性質の他に化學的、生物學的な問題もある。これらについては、ここでは觸れない。

既に述べた、1900年代から始まつたソヴェト北氷洋航路の開発に關聯し、海水の研究は強力に進みられた。ソヴェトの北氷洋水域には多數の海水觀測所があつて氷の觀測、氣象觀測が行なわれ、一方、基礎的研究も進められている。その結果として Veinberg (1940)⁵⁾ その他の“氷“、Zubov (1938)⁶⁾ の“海水“等の著者となつて現われている。Zubov は更に“北氷洋の氷”と題する一書を現わしている。

また、海水は航海に非常な關係があるから、この方面では海水狀況の豫報が研究の重點となる。このような點から 1899 年第 7 回萬國地理學會でデンマーク氣象臺に、北極に關する報告の保管を委任し、同臺では 1892 年以來“北氷洋の氷の狀態”なる報告を出している。また、現在イギリス水路部では海水や氷山の分布圖を發行し、フィンランドでも氷狀の調査が行なわれ、ドイツでも活發に行なわれている。氷の術語や種類に關しては Zukriegel (1935)⁷⁾、Maurstad (1935)⁸⁾、Gakkel' & Laktionov (1940)⁹⁾ などの圖誌がある。更にアメリカに於いては前述の“International Ice Patrol”を U. S. Coast Guard が實施しており E. H. Smith (1932)¹⁰⁾ が海水の研究を進めた。

それでは、以上のような海水の調査や研究のなかで、一方わが國ではどんな研究が行なわれてきたかを振返えつてみよう。わが國の海水研究は前世紀の終り頃から始まり 60 年餘の歴史をもっている。諸外國における近代的な研究の歴史とは差異がない年月である。しかし、日本の地理的位置からいつて、豊富な海水に見舞われることがなく、社會的な關心は至つて少なかつた。従つて研究活動も餘り活發でないのは當然であらう。けれども 1889 年に網走測候所が開設され、わが國最初の海水觀測が開始されると共に海水に対する關心も高まつて行つた。なお、1902 年に東北、北海道の凶冷があつて、その原因としての“流水説”の檢討など叫ばれるに至つて氣象學、海洋學的に大いに研究の對象になつた。このような發足をして今日に至つている。

わが國の海水研究をその報告の上から眺めて見ると、初期における氣象學者の手による氷の狀況に關する研究は、次いで海洋學者が進出して来るまで、1890 年頃から 1930 年頃まで續いた。1930 年からは神戸海洋氣象臺に屬する海洋學者の活動が始まり、1940 年頃までの研究は殆んど氣象臺關係の研究者によつて行われている。この頃から水産學、理學、工學等の廣い分野の研究者に關心をもたれてきた。今次大戦中は軍事的にも海水の研究が重要視されていたが、特に海水の基礎的性質の研究が進展した。戦時中の研究活動の制限、戦後の社會狀勢の悪化のため當時の結果はずつと遅れて發表された。以上の結果； 1890-1930、1930-1940、1940-1945、1946-現在 と區分して記述を進めてみよう。

III. 初期の研究 (1890-1930)

1890年から1930年頃にかけての研究は、主に海水の状況について記述されている。従つて海水の基礎的性質の仕事は少ない。その意味において初期の時代としておくことにする。

この時代には1889-90年の冬期に網走測候所が創立され、オホーツク海の海水の観測がこれから以降行なわれている。また根室測候所は1879年に開設されているが、海水の観測資料は1895年から発表されている。更にオホーツク沿岸では千島列島の紗那も観測をしている。このような資料は總て測候所所在の陸上から目撃された海水の状況についてのものである。即ち流結氷の初終日、完全に凍結しそれ以降解氷期まで氷が不動になつた完全結氷日、解氷日、更にこれらの期間内に起つた流結氷の移動状況といつたような資料である。

網走を中心とする流結氷の状況については次のような記述がなされた。即ち、流結氷初終日、完全結氷期、それらに關係した氣象要素一気温、風向、風速、海水温度などである。また他測候所との以上のような事項の比較などが行なわれた。このような報告は：水料(1892)¹¹⁾を始めとして、星川(1905)¹²⁾⁻¹⁵⁾、豊倉(1906)¹⁶⁾、根本(1914)¹⁷⁾、荒木(1919)¹⁸⁾等によつて述べられている。根室、釧路の資料を中心とした太平洋沿岸の流結氷状態については、宮城(1913)¹⁹⁾、根本(1914)²⁰⁾によつて報告され、荒木も觸れている。千島近海については、岩波(1904)²¹⁾、野田(1906)²²⁾、根本によつて述べられた。これらの中で荒木は1915年以前の北海道沿岸の測候所所在地やその他の地點の流結氷について統計的に論じている。同時に風や気温との關係も定性的に記している。

當時わが國では結氷を見る海域は、上記の北海道近海の外に黄海北部の渤海灣や大連灣があつて佐藤(1915)²³⁾、新帯(1927)²⁴⁾の觀察が行われている。

以上の多くの記載的研究の中にあつて多少海水の物性に觸れたのは星川(1922)¹⁵⁾と新帯である。星川は海水の比重を測定し0.84(氷厚約30cmの結氷)、0.87(氷厚約1m)を得た。更に氷の硬度、化學成分の分析、淡水氷と海水との融解量、や蒸發量の比較を行なつた。何れも簡単な試みであつた。更に海水の結氷點も測定した。また流水の速度を網走で試み風速12m/s位の時に最大11.3尺/secの値を求めているが、風による流水の漂流の機構については論じていない。新帯は大連灣で數地點の海水を採取し鹽分量を求めている、これに關聯して時間が経つと海水の鹽分が減少することについて諸外國での報文を参照して論じている。

所で、靜かな水が冷却して氷が生成する問題を理論的に取扱つたのにF. Neumann, J. Stefanの解がある。これは氷生成の問題と呼ばれて熱傳導論の教科書に現われている所のものである。實際に天然状態で起る場合を完全に解くことは困難である。氷厚が薄い場合について考えてみる。氷厚 I の氷の温度傾度が一様に θ/I (θ は表面温度、下面は 0°)とする。 dt 時間に氷厚の増加が dI であつたとすれば、この時放出される熱量 $L\rho dI$ (L は氷の融解熱、 ρ は密度)と dt 間に單位面積を通して上向きに流れる熱量 $K\frac{\theta}{I}dt$ が等しいと考へて容易に次の關係を得る。

$$I^2 = \frac{-2K}{L\rho} \theta t$$

但し K は氷の熱傳導度。この関係は大体において氷の氷厚増加が $\int \theta t$ なる量 (積算温度) に關係していることを示す。この問題は、理論的に Fujihara (1910)²⁵⁾ によつて取扱われた。氷板の上下両面で温度變化があつて氷厚と水面との境界が變化する場合に擴張している。そして海水の生成にも利用できると述べているが實際の測定や應用は試みていない。この氷生成の問題の理論的な取扱いは多くの研究者によつて、現在でも實際的方面と關聯させたり、純數學的に取扱つたりされている。即ち、Pekeris & Slichten (1930), Bossolasco (1932), その他がある。

1929 年には須田が當時までの網走、根室、紗那で觀測された流結氷期日、期間について考察し、氣象要素との關係を述べている。

IV. 1930-1940 年の研究

この年代は、すでに述べた前期においては氣象學關係の研究者が活動したのに比べ、海洋學の關係者が研究を進めた點に特色がある。これより前、1920 年には海洋氣象臺が開設され、わが國の海洋學が近代的發展に入らんとした。やがて 1930 年代になると須田 (1930)²⁶⁾, (1931)²⁷⁾ が先ずソヴエトで使用されている海水の術語の紹介を始めた。また須田・關 (1931)²⁸⁾, 田口 (1932)²⁹⁾ はソヴエトの海水觀測所で求めた流結氷に關する資料から、ベーリング海、オホーツク海、日本海北部、太平洋北部などの各地の流結氷初終日について統計的な資料を示した。このような海水の研究は、當時 Malmgren, Sverdrup, Vize, Pettersson 等の研究が盛んに紹介されるなどして、従來の單に氷の狀況の記述から具体的な方向への發展を示していた。

しかし、海水の狀況については須田 (1931)³⁰⁾ は宗谷海峡と亞庭灣の當時の稚泊連絡航路などでの觀察を基として狀況を述べ、神尾 (1932)³¹⁾ は千島の中部の平年の狀況を述べている。更に根室灣については鈴見 (1934)³²⁾ が記している。流水期間の長短と氣温や積雪量との關係について統計的に青山 (1935)³³⁾ が行ない。更に流水襲來によつて陸地附近の氣温が低下することを考察している (1936)³⁴⁾。

宇田と渡邊 (1936)³⁵⁾ は海洋觀測を行なつた際に、釧路沿岸の沖合で遭遇した流水の記述、更に宇田 (1940)³⁶⁾ は開水路内において觀察された規則正しい小氷丘脈の一種とも云える形狀について述べている。このような海水の觀察が陸上のみでなく、現地においてなされるようになったのもこの時期の特徴であろう。

更に、海水の性質として重要である鹽分量の測定が須田 (1932)³⁷⁾ によつて行われた。しかし、詳細なものではなく、order を知るといつた程度であつた。海水は純氷と ブラインとから成立つてゐることは既に述べたが、冬季間氣温が低く、降雪量の少ないシベリヤの一部では凍結採鹹法によつて鹽を製造していると云われている。或る量の海水を濃縮するために通常は蒸發させるのであるが、寒い地方では冬季間に凍結させ氷の部分を取除くとよい。この方法について

關東州鹽業試驗場 (1935)³⁸⁾ の豫備的な實驗があり、朝比奈・大道寺 (1938)³⁹⁾ が氣象要素を検討してわが國では可能かどうかを考察した。それによると氣温、降雪量の二點から北海道厚岸附近がやや適地と結論された。この方法での製鹽が現在行なわれていないのは、鹽が輸入されることが第1であるが、北海道の氣温の程度では實用にならないものと思われる。

海氷中にはブラインの他に、ガスが含まれていることは前に述べた。しかし、更に有機体が包含されていることが多い、また泥土、砂礫も入つてることがある。海氷中のプランクトン、或いは氷の浮遊している水面のプランクトンなどを檢鏡したのが、松平 (1933)⁴⁰⁾、丸川 (1939)⁴¹⁾ である。前者は根室港の流水、結氷について行つた。後者は 1939 年 5 月 宇田氏の採取した氷塊や、それらの間に浮遊しているプランクトンを觀察している。その時の氷は赤茶色を呈していた。

海氷中のプランクトンによつて氷塊の出現地やその経路、漂流速度などが推定されるのではないかという考えや、海中のプランクトンから逆に氷のある水域に近いかどうか一即ち氷の存在の豫報をする試みが主にソヴエト北氷洋で行なわれている。即ち Zubov (1935)⁴²⁾、Bogorov (1939)⁴³⁾、Laktionov (1940)⁴⁴⁾ 等の研究がある。上記の松平、丸川の報告にはそのような試みは行なわれていない。更に近年に至つて田村 (1951)⁴⁴⁾ が同様の觀察を、網走において採取した氷について行なつてはいるが、氷の發生地や豫報等については觸れていない。只可能性があることを指摘しているのみであつた。

星川は海氷の結氷點を測定した事は既に述べた。結氷點について既に Knudsen (1903)⁴⁵⁾ が實驗的に海水の鹽素量との關係を求めた。更に Thompson (1932)⁴⁶⁾ も求めた。わが國においては Miyake と Matsui (1939)⁴⁷⁾ が次の實驗式を求めている。

$$\text{結氷點 (°C): } t_f = -0.10271 Cl \quad (Cl: \text{鹽素量})$$

1930 年頃から海洋關係者が注目をよせてきたことは既に述べた通りである。當時の海軍においても、オホーック海や、日本海北部などの海水に關心は持つていた。しかし、現在に至るまで公表された結果がないので詳細を窺うことができない。僅かに當時の海軍水路部 (1940)⁴⁸⁾ が 1939 年 2 月、4~5 月、オホーック海方面の海水觀測を行ない、海氷の種々の形狀に對して術語を決定したものがある。22 種の術語が決定されているが、實際にはあまり利用されずに今日に至つてはいる。

V. 1941-1945 年 (戰時中) の研究

今次大戰中の一挿話に、當時の英國首相 Churchill が命令を下した 'Habbakuk' 作戰というのがある。これは、海水を冷凍機で冷やして海氷とし、木材パルプで補強をし、Pykrete と稱する混合物で 200 萬トンの浮島を作らうというのである。これを飛行根據地にしようとしたが實現せず終つた。しかし、海氷の機械的性質についての基礎的研究が行なわれたようである。また、北氷洋においては、ドイツの船が Spitzbergen 諸島まで活躍し、更に太平洋へ通り抜け

たのもあつた。當時米國よりソヴェトの物質は北氷洋を通つてシベリヤ沿岸に運ばれたものがあり、北氷洋は仲々賑わつた。この間のソヴェトの海水研究については餘り詳細なことは分らない。しかし、當時北氷洋沿岸に重點をおかれていた海水豫報も、漸次東方海域まで擴張されているようである。

アメリカでは、従來海水の研究は活潑でなかつたが、この時代に北極地方への軍事的な關心も高まり、従つて海水の研究に關心を示し始めた。1946年アメリカ海軍水路部の作成した“北半球の水の地圖”⁴⁹⁾は1700篇に近い各國の海水、陸水に關係ある報告を基にして作られた。世界の主面な海、河川、湖沼の水の状態が各月について調べられている。米國では既に述べた“International Ice Patrol”の實際的な仕事が氷山を對象としており、地理的に見ても、わが國に於けるが如き海氷は少ないから、極地の海氷以外には餘り研究の對象にならないであろう。カナダにおいては古くは Barnes (1928)⁵⁰⁾が氷(特に發電用流路の凍結)の全般について多くの研究を行つた歴史があり、現在では Hudson 灣の海水の豫報などが問題となつている。またアメリカと合同で種々の仕事が雪氷學全般に亘つて進められている。

さて、このような諸國での動きの中でわが國はどう進展したかを述べてみる。1941年から45年の間には報告としては十數篇より現われていない。云うまでもなく戦中戦後の研究活動や印刷などが困難であつたためである。ところで、わが國の Glaciology は今次大戦に入る頃には可成り活潑となり、1939年には日本雪氷協會が結成されている。更に1941年に低温科學研究所が創立されてこの方面への貢献を始めた。また海水に關心をもつ函館海洋氣象臺もこの頃創立されている。従來の氣象、海洋學的に云はば Geographical な立場での研究が多かつたものが、具体的に物質としての海水の性質を知る慾求が強くなつて行つた。

宇田 (1941)⁵¹⁾は海水の物理的な問題を提示している。即ち海水の術語をその發達経路によつて紹介し、更に海水の呈する色について、プランクトン、砂泥などに起因するものがあることを述べている。また密度を測定し、今後このような物理的性質の測定の必要なことを述べているが系統的な研究ではない。また彼は海水と海流の關係について簡単な考察 (1943)⁵²⁾を行つている。また氷山のような氷塊が暖水域へ流入した時に融解しつつ衰滅して行く様子を理論的に取扱つている (1943)⁵³⁾。

既述した Gakkel' と Laktionov (1940)の編集した、北氷洋航路總局の極地觀測所や船舶で使用されているソヴェトの海水の術語を須田 (1944)⁵⁴⁾が紹介している。須田が1930年に紹介した術語は上掲書の舊版のものである。

古く Fujihara の取扱つた氷生成の問題を野滿と齋藤 (1942)⁵⁵⁾が理論的に考察している。水中の熱傳導の式

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\kappa}{\rho c} \frac{\partial^2 \theta}{\partial Z^2}$$

(θ : 温度, κ : 氷の熱傳導度, ρ : 密度, c : 比熱) において境界條件:

$$\begin{aligned} Z = 0; \quad |\theta| &= -T \\ Z = I(t); \quad |\theta| &= 0: \quad I: \text{氷厚} \end{aligned}$$

および氷結の基本式

$$L\rho \frac{\partial I}{\partial t} = \kappa \left. \frac{\partial \theta}{\partial Z} \right|_{Z=I}$$

と初期条件 $t = 0; I = 0$

但し, L は融解熱

の諸条件で解いて次の解式を得た。

$$\theta = -T \left\{ 1 - \frac{\phi \left(\frac{a}{2k} \cdot \frac{Z}{I} \right)}{\phi \left(\frac{a}{2k} \right)} \right\} \quad \text{但し } \phi(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^x e^{-\beta^2} d\beta$$

$$I = a \sqrt{t}$$

但し, $k^2 = \frac{2\kappa}{\rho c}$, a は氷結の基本式に上の二式を代入すれば求められる。この時 T が餘り低くなければ氷厚 I は

$$I^2 = \frac{2\kappa}{L\rho} \int_0^t T(t) dt \quad \left(\frac{2\kappa}{L\rho} = \mu^2: \text{氷厚係数} \right)$$

で表わされる。 T が一定の時には既に述べた薄い氷の場合に一致する。

彼等は更に、松花江の結氷、河川の結氷、海氷の一冬の凍結量を求めた。われわれに關係深いオホーック海の最大氷厚として 77 cm を得ている。

1945 年には前述の函館海洋氣象臺がオホーック沿岸の雄武において、1943 年に行なつた海氷觀測を報告した (1945)⁶⁶⁾。同年 3 月 18 日より 13 日間、流氷の移動速度を陸上の二地點よりトランシットで觀測して求めた。同時に風速も測定した。更に海氷と潮汐によるその垂直方向の移動の測定もしている。海氷の密度、鹽素量の測定、氷厚、割目、氷湖の觀察もしている。

この頃、根岸が飛行機によつて沖合の海氷を觀測して多數の寫眞撮影を行なつた。しかし、残念ながら未だ發表されていない。

田口 (1945)⁶⁷⁾ は 1942 年から函館海洋氣象臺の行なつた宗谷海峡の表面航走觀測から、航海中にその針路に當る海氷の存在の有無を豫察する試みを行なつた。即ち、表面水溫の水平方向の傾度を知ることにより豫知しようというものである。

さて低溫科學研究所においては、1943 年より福富によつて海氷の研究が開始され、現在迄 20 篇餘の報告が出された。現在わが國において海氷の基礎的な研究を活潑に行なつているのは、上記研究所以外にないと云つても過言ではあるまい。前述したように、印刷事情の悪かつたために 1943 年以降戦時中の研究は後日に發表されている。従つて次項に述べることにする。このことは他の研究についても同様である。

VI. 1946年以降の研究

小林 (1946)^{55) 60)} は紗那測候所で得られた流氷期間と東北、北海道のその年の夏の気温や米の収量との関係を論じた。即ち、1903年より1939年の6, 7, 8月の東北、北海道の気温や米の反當収量との相関係数を求めた。餘りはつきりした関係は見られないが、逆相関にあることは確からしい即ち流氷期間が長ければ米の収量が減るわけである。しかし、流氷期間が0であっても凶作の年がある。これは観測が陸上からのものであり、長期の凶冷時にはオホーック高気圧の長時間に互る停滞が一つの問題であるから、オホーック海全般の海水、海況、更に北半球での廣範圍の大気循環も考慮せねばなるまい。

田口 (1947)^{60) 61)} は網走において氷塊が風によつて、どの位の速度で移動するかを測定した。即ち陸上より寫眞撮影によつて移動経路を追跡している。その結果風速と全平均流速との比をとると $1/22 \sim 1/23$ となつた。更に風壓の影響を考慮している。

このような問題は既に古くから取扱われている。Nansen が北氷洋において風と氷の漂流を測定したところ、漂流が風下に右偏することなどから Ekman の海流理論が生れ、更に最近の海流理論へと發展している。

風と氷の漂流の関係については、Brennecke (1921)⁶²⁾ Sverdrup (1928)^{63) 64)} Rossby & Montgomery (1935)⁶⁵⁾ Schleykin (1938)⁶⁶⁾ 等によつて取扱われた。最近福富 (1943)⁶⁷⁾ (1951)^{68) 69)} は氷の水面上の部分に働く風壓を考慮して、1943年には氷池内での小蓮葉状海水の分布を論じている。更に1951年には流氷塊の運動について定常的な場合を取扱つている。更に實測が1950年にオホーック海で試みられた。⁷⁰⁾ その後北海道近海へ漂着する流氷の風による移動を取扱つている (1953)⁷¹⁾。これらの風と氷の漂流の問題には、Rossby 等が取扱つたように流体の及ぼす Surface stress を明確にすることが必要ではあるまいか。また實際の流氷塊は非常に變動の多い風に支配されているから、非定常的な場合も多いものと思われる。この方面への理論、實測が望まれる。

更に、オホーック海の廣範圍の海水には須田 (1948)⁷²⁾ が觸れている。即ち前述の“北半球の氷の地圖”に基づいて記述を進めた。更に同圖で航海上から5種類に分けてある氷の種類に対して (但しオホーック海では Permanent polar pack ice 以外の4種) 面積を求め、氷厚は 1, 0.5, 0.2, 0.05 m と推定して氷量を推算した。その月變化を求め、最大値は3月に現われ、 $319.2 \times 10^9 \text{ m}^3$ を求めた。また福富 (1950)⁷³⁾ によれば、一冬に $122 \times 10^{10} \text{ m}^3$ の氷が生成されることを理論的に求められている。この頃、尾形・中川 (1948)⁷⁴⁾ は千島南部の海水の諸状況と氣象要素について述べており、更に田宮 (1950)⁷⁵⁾ は北海道近海の海水の去來の日、概況等航海の立場から述べている。田口・野村 (1950)⁷⁶⁾ は流氷中の泥について色調、個數、大きさ、量等を測定し生成箇所が推定されるのではないかと述べている。

最近、倉品 (1954)⁷⁷⁾ は現在まで未發表であつた舊海軍の海水観測資料を一部取りまとめて發表

した。これによると 1935 年に碎氷艦大泊が海水の寫眞撮影をしてから 1943 年頃までの資料によつて、オホーック海中央部の結氷から解氷まで (1940 年の資料、飛行機と大泊による) が知り得た。更に沿岸結氷の範圍、オホーック海最北部の狀況、北見沿岸 (1942 年 2-3 月) の解氷狀況等について觸れている。1940 年の觀測によると樺太東岸からの結氷は殆んどオホーック海中央部まで達していることがわかる。

また、前にも觸れたが福富はオホーック海の結氷生成、氷厚、氷量などについて理論的研究を行なつている。即ち、鹽分量 24.7% 以上 (淡水と異なり結氷點以上の温度では水温が低いほど密度が大)、深さが 100 m 以下の淺海での結氷生成について、海面からの熱放出が水温と気温の差に比例し、海水の對流が烈しいとして理論的に考察した (1950)⁷⁸⁾。更にこの時結氷生成の條件、氷厚、實際例え (オホーック海) の適用など行なつた。オホーック海のような深海に適用すると、實際に表層には對流層があつて淺海での理論が適用されるので、結氷初日の分布、最大氷厚の分布、一冬に生成される氷量 ($122 \times 10^{10} \text{ m}^3$)⁷³⁾ の推定、氷量の經年變化等を求め實際の値に近い結果を得ている。もちろん、氷量のような莫大な量については實測値はない。

更に福富 (1952)⁷⁹⁾ は、沿岸結氷の理論⁷⁸⁾ で求めた最大氷厚と實測値とを比較し (但し、1 年生氷)、オホーック海以外の海にも適用した。そこでは、既に野滿・齋藤の理論⁵⁵⁾ で示した水厚係數 μ^2 の吟味を行い、気温と氷の表面温度の不一致、海水の鹽分に基づく μ の影響の解析をしている。また沿岸結氷の理論⁷⁸⁾ に基づいて北方海の結氷初日と気温の關係を吟味している (1953)⁸⁰⁾。そして気温が海水の結氷點になつてから $d / \left(\frac{k}{\rho c} \right)$ 日だけ後れて結氷することからこの値を求めて 16 ± 16 (日) を得た但し d : は平均水深、 k : 海面から空氣への熱傳達係數、 ρ : 海水の密度、 c : 比熱。

また、以上の結氷生成の問題を、今迄は均質な海として考えていたのを、下層での亂れのある層をも考慮して理論的に取扱つた (1953)⁸¹⁾。その結果、オホーック海の北部では下方からの熱の流入は無視出来ること、最大氷厚、気温が結氷點に降下して結氷初日になるまでの日数などを求めた。

更に結氷の厚さの増加については、既に述べた Stefan 等の式を擴張し、實際にブラインをもつている海水について理論的、實際的に考察した (1950)⁸²⁾。この結果によると、前述の水厚係數は、気温が低く、海水の鹽分が多い程小となることがわかり、實測によつて $\mu = 2.1 \text{ cm}/(\text{deg-dag})^{\frac{1}{2}}$ を網走、紋別の海水について得た。

オホーック海沿岸において福富等が海水を観察して來た結果は、“海水の研究” (第 8 報) (1950)⁸³⁾, (11) (1951)⁸⁴⁾, (15) (1951)⁸⁵⁾ となつて發表された。即ち、結氷下の海水下の海水温度や鹽分量などの分布を調べ、過冷却現象も見出している⁸³⁾。また海水中の鹽素量や硫酸鹽の分布についての考察も行なつた⁸⁴⁾。海水の外見上の形態として特徴的な氷丘脈 (Hummocky range) についてその分類、構造、生成機構、氷壓の原因等について述べた⁸⁵⁾。

また理論的に、熱傳導の式を用い、結氷板の表面が周期的な温度變化をした時、どの深さ迄

變化が及ぶかを考察した (1950)⁸⁶⁾, 更にこの結果を利用して結氷の下面での氷の成長速度が表面の周期的變化にどう影響されるかを考察している (1948)⁸⁷⁾。

海水の物理的性質は、先ず最初に生ずる氷の結晶の問題、夫にそれらが集合体となつて行く過程を知る必要がある。このため簡単な實驗が行はれた。即ち、晶氷 (Ice crystal) の寫眞や海水に特有な下面の構造が觀察された (1949)⁸⁸⁾。また可成り發達した厚さ 1~3 cm の氷殻 (Ice rind) の組織—純氷とブライン部分の比、純氷片の集合状態等—について低温室で實驗的に海水を作つて研究した (1952)⁸⁹⁾。

海水の豫報に關しては福富等 (1950)⁹⁰⁾ によつて統計的に、網走、根室の流氷終日と氣温上昇、風等の相關から實驗式を作つて一つの試みをしている。また田畑 (1953)⁹¹⁾ は流氷終日などを定常時系列と見做し調和分析による豫報法を用いて 1952 年の網走到に適用している。

以上で福富およびその協力者によつて行われてきた研究の概略を示した。なお、この點については Fukutomi が最近 International Commission of Snow and Ice へ提出の報告 (1954)⁹²⁾ が参考になると思はれる。また、同時に筆者も、簡単にわが國の海水研究の足跡について報告した (1954)⁹³⁾。

現在までの海水研究は殆んど全部がオホーック近海でのものに限られている。しかし、古くは白瀬南極探検隊が南極大陸に足跡を印しており、その後捕鯨に南氷洋へはしばしば航海している。戦後南氷洋での氷山を觀測した報告が杉浦 (1950)⁹⁴⁾ によつてなされた。これには當時の海流との關係が主に論じられている。

VII. む す び

以上でわが國の海水研究の發展を振り返つてみた。しかし未だ残された問題も多い。海水は海水の凍結して生じたものであるから、海水の結晶の問題から始まつて、海水の豫報の問題に至るまで多くの未開の地が残されている。

例えば海水の物性についてみると、天然状態にある海水についてその状態を變化させることなく、諸量の測定することが好ましいのであつて、海水は—オホーック沿岸では一切出してしまふと brine の脱落のため構造、性質が變つてしまう。この點について楠・田畑 (1954)⁹⁵⁾ は試料採取方法の検討をしている。

わが國の研究を見ると、海水の物性の測定に關した研究は餘り多くなく、近年に至つて注目されているに過ぎない。けれども、海水の光學的性質、力學的性質などは行なわれていない。また結氷の上方の大氣、下方の海水との三者間に起る熱の出入の問題も良い觀測がないようである。更に化學的な問題として、海水は凍結して行く途中に—海水は種々の鹽を含むから一起る鹽類の Selective separation の問題がある (海水中の硫酸性と鹽素量の比が、海水中と異なるといつた問題)。これも近年に至つてより精密な測定が望まれている。

前にも少し觸れたが、海氷中のプランクトン、砂泥から出生地の推定、漂流経路、速度の算出。またプランクトンが海氷中に含有される機構など、わが國でこれらの研究は活潑でない。

海氷の力學的性質は舊來の彈性論的立場ではどうしても不充分であつて、最近の粘彈性、塑性物質の取扱いがこの方面へ應用されることが期待される。また、海氷のこのような力學的性質と關聯し、結氷中に起る (thermal なものに起因するのであろうか) 非常に小さな地震が最近注目されている。それと關聯して結氷板の波動の問題は地震學の方からも注目されている。

海に浮んでいる状態の海氷については、海の波と浮氷との相互作用について二、三の議論が行なわれている。

氷厚を連続的に氷を切ることなく記録せんとして、超音波を利用した試みもなされている。これは極地の氷上を車輛で行く時に利用せんとしたものである。

海氷、氷山の *detecion* に Radar を使用する試みは種々なされている。

海氷の豫報は航海、氣象、海況等の面で重要である。特に大西洋航路に出没する冰山については、International Ice Patrol が豫報、警戒に當つている。ソヴェトにおいては既述した通りであつて、近年に至つて東シベリア、チュクチ、オホック海と豫報範圍が廣がつている。これらの詳細は残念乍ら不明である。その貢献にあずかつたのは既述の Vize, Zubov であつて、探検家であり最近 *Cosmology* で有名な O. Yu. Schmidt の北氷洋航路總局長の頃から豫報に關した仕事をしている。これらに關聯して、海氷のある水域の海況を當然知る必要があるわけで、北氷洋、大西洋などで古くから海の觀測がなされている。最近になつて北氷洋のアメリカ側での觀測がなされている。

この章において述べた二、三の問題に對する最近の諸外國の動きについては、機會を得て紹介したいと考える。

わが國の海氷の研究は、氣象、海洋、航海といつた點と關聯して進められてきた。この點では觀測設備、組織等で諸外國に比し劣つている點は否定出來ないであろう。しかし、海氷の基礎的な性質の研究においては充分の活動が出来るものと考えられ、この方面への發展が今後大いに望まれる次第である。

文 献

(* 印を附したのは一般的問題を取扱つたもの)

- 1) Pettersson, O. 1883 On the properties of water and ice. Vega-exped. Vetenskapliga Iakttagelser, 2, 247-323.
- 2) Ringer, W. E. 1906 Über die Veränderungen in der Zusammensetzung des Meereswassersalzes beim Ausfrieren. Verhand. uit het Rijksinst. voor het onderzoek der zee, 1.
- 3)* Malmgren, F. 1927 On the properties of sea-ice. Norwegian North Polar Exped. with the "Maud" 1918-1925, Sci. Res., 1, 5, pp. 67.
- 4) Arnold'Alyab'ev, V. I. 1931 Opredelenie polostei vo l'du i pribory dlya etoi tseli. (The de-

- termination of cavities in ice and instruments for this purpose.) *Izv. Glavn. geofiz. obs.*, 4, 34-36.
- 5)* Veinberg, B. P. 1940 *Léd; svoïstva, vzniknovenie i ischeznovenie l'da.* (Ice: properties, breaking-up and disappearance of ice.) Moskva-Leningrad, Gosudarstvennoe Izd. Tekhniko-teoreticheskoi Literatury, pp. 524.
- 6)* Zubov, N. N. 1938 *Morskije vody i l'dy.* (Sea Water and Ice.) Moskva, Gidrometizdat, pp. 453.
- 7)* Zukriegel, J. 1935 *Cryologia maris.* Trav. géogr. Tchéques, 15, pp. 177.
- 8)* Maurstad, A. 1935 *Atlas of sea ice.* Geofys. Publ., 10, 11, pp. 17.
- 9)* Gakkel', Ya. Ya. i A. F. Laktionov. 1940 *Al'bom ledovykh ovrazovanie* (Album of ice forms.) Leningrad-Moskva, Izd. Glavsevmorput'. pp. 76.
- 10)* Smith, E. H. 1932 *Ice in the sea. Physics of the Earth*, 5, (Oceanography). 384-408. *Bull. Nat. Res. Council*, 85.
- 11) 水科七三郎 1892 流水の去來. 氣象集誌, 11, 10, 415-422; 11, 451-458.
- 12) 星川信吉 1905 網走灣の流水. 氣象集誌, 23, 2, 54-61; 3, 93-102.
- 13) 同 上 1911 網走灣の流水. 北海道氣象月報, 186, 2-5; 187, 2-4; 188, 8-9.
- 14) 同 上 1911 網走灣の流水. 氣象集誌, 30, 11, 251-263.
- 15) 同 上 1923 網走灣の流水. 北海道氣象月報, 326, 3-9.
- 16) 豊倉鑄吾 1906 北海沿岸流水の調査. 氣象集誌, 25, 6, 181-191.
- 17) 根本廣記 1914 オコツク海南部の流水. 北海道氣象月報, 222, 8-10.
- 18) 荒木丑平 1919 北海道流水調査 (大正4年以前). 北海道水試調査報告, 9, 168-179.
- 19) 宮城深造 1913 大正2年釧路沿岸流水概況. 北海道氣象月報, 209, 3-5.
- 20) 根本廣記 1914 根室沿岸の流水及び結氷. 北海道氣象月報, 220, 5-7; 222, 4-8; 223, 2-6.
- 21) 岩波常景 1904 千島列島沿岸の流水. 氣象集誌, 23, 2, 54-61; 3, 93-102.
- 22) 野田爲太郎 1906 九春古丹灣の結氷. 氣象集誌, 25, 8, 265-272.
- 23) 佐藤嶺敏 1915 大正4年1月, 2月に於ける勸海灣の大氷原の状況. 氣象集誌, 34, 3, 115-132.
- 24) 新帶國太郎 1927 大連灣海水の觀察. 地球, 7, 5, 354-377.
- 25) Fujihara, S. 1910 *Note on the problem of ice-formation.* *Bull. Cent. Met. Obs. Japan*, 1, 3, 9-18.
- 26) 須田院次 1930 海水の形態に關する術語について. 海洋時報, 2, 4, 752-757.
- 27) 同 上 1931 航海上より見た海水の種類. 海と空, 11, 1, 23-24.
- 28) 須田院次・關和男 1931 ベーリング海, オコツク海及び近海各港の流結氷初終日. 海洋時報, 3, 3, 697-703.
- 29) 田口龍雄 1932 ベーリング海, オコツク海, 日本海北部の海水に就いて. 海洋時報, 4, 2, 489-507.
- 30) 須田院次 1931 宗谷海峡及び亞庭灣の海水に就いて. 海洋時報, 3, 2, 438-446.
- 31) 神尾秀二 1932 中部千島の氣候 (海水, p. 13-17). 神戸海洋氣象臺彙報, 47, 1-18.
- 32) 鈴見四郎 1934 根室灣流結氷平年の概況. 北海道氣象月報, 463, 48-49.
- 33) 青山 浩 1935 気温並びに全積雪量と流水期間の相關. 北海道氣象月報, 476, 89-91.
- 34) 同 上 1936 流水襲來による気温低下. 同上, 486, 32-33.
- 35) 宇田道隆・渡邊信雄 1936 今年の北海道南海に於ける流水. 科學, 6, 5, 192-193.
- 36) 宇田道隆 1940 海水の結氷初期に於ける特異な氷紋の觀察. 科學, 10, 4, 122-123.
- 37) 須田院次 1932 根室灣海水中の鹽分に就いて. 海洋時報, 4, 1, 265-267.
- 38) 關東州鹽業試験場 1935 凍結採鹹に關する試験報告 (第1報). 同場報告, 3, 1-22.
- 39) 朝比奈貞一・大道寺重雄 1938 本邦に於て凍結採鹹は可能なりや. 氣象集誌, II, 16, 10, 406-410.
- 40) 松平康雄 1933 結氷海水中の浮に就いて. 海と空, 14, 5, 185-197.
- 41) 丸川久俊 1939 北洋の氷塊間及氷塊面に現るる植物浮游生物. 水産研究誌, 34, 7, 219.
- 41) Zubov, N. N. 1935 *O biologicheskikh svoïstvakh morskogo l'da.* (Biological characteristics of marine ice.) *Severnyi Morskoi Put'*, 2, 45-51.
- 42) Bogorov, V. G. 1939 *Mestnye ledovye prognozy po biologicheskim priznakam* (Monthly ice

- forecasts based on biological indicators.) *Problemy Arktiki*. 1939 (1), 32-38.
- 43) Laktionov, A. F. 1940 O metodike ledovykh prognozov po planktona. (On method of ice forecast by plankton.) *Problemy Arktiki*. 1940 (9), 27-34.
- 44) 田村 正 1951 流氷中のプランクトンの観察. 北大水産學部研究彙報, 1, 3/4, 134-138.
- 45) Knudsen, M. 1903 Gefrierpunkttabelle für Meerwasser. *Publ. de Circonst, Conseil Perman. Intern. pour L'Explor. de la Mer*, 5, 11-13.
- 46) Thompson, T. G. 1932 The physical properties of sea water. *Physics of the Earth*, 5, (Oceanography), 63-94. *Bull. Nat. Res. Council*, 85.
- 47) Miyake, Y. and H. Matui 1939 Freezing point, osmotic pressure, boiling point and vapour pressure of sea water. *Geophys. Mag.*, 13, 1, 111-116.
- 48) 水路部 1940 日本近海の海水の名稱に就て. 水路要報, 19, 2, 49-50.
- 49)* U. S. Hydrographic Office 1946 Ice Atlas of the Northern Hemisphere. H. O. Pub. No. 550, pp. 106.
- 50)* Barnes, H. T. 1928 Ice Engineering. Montreal. pp. 364.
- 51) 宇田道隆 1941 日本近海の海水に關する物理的諸問題. 雪氷, 3, 1, 16-27.
- 52) 同 上 1943 海水と海流. 雪氷, 5, 2, 43-47.
- 53) 同 上 1943 流氷塊の衰滅に就いて. 海と空, 23, 4, 159-162.
- 54) 須田院次 1944 北氷洋の海水. 雪氷, 6, 5, 120-126.
- 55) 野滿隆治・齋藤泰一 1942 河海の結氷に就いて. 地球物理, 6, 2, 110-123.
- 56) 函館海洋氣象臺 1945 海水觀測結果報告. 同臺海洋時報, 2, 218-222.
- 57) 田口龍造 1945 航海中に於ける航路先の海水豫知の可能性に就いて. 函館海洋時報, 2, 218-222.
- 58) 小林清次 1946 紗那の流氷期間と東北地方の其年夏期氣温並に米作收量との關係. 中央氣象臺彙報, 25, 1, 249-251.
- 59) 同 上 1946 紗那の流氷期間と北海道の其年夏期氣温並に米作收量との關係. 中央氣象臺彙報, 25, 1, 252-254.
- 60) 田口龍造 1947 海水の物理的研究 (流氷調査報告). 中央氣象臺研究速報, 22, 6.
- 61) 同 上 1947 流氷の漂流と風との關係 (流氷調査報告). 中央氣象臺研究速報, 23, 9-13.
- 62) Brennecke, W. 1921 Die ozeanographischen Arbeiten der Deutschen Antarktischen Expedition 1911-1912. *Aus dem Arch. d. Deutsch. Seewarte*, 34, 2, 195.
- 63) Sverdrup, H. U. 1928 The wind-drift of the ice on the North-Siberian Shelf. *The Norweg. North Polar Exped. with the "Maud" 1918-1925. Sci. Res.* 4, 1, pp. 46.
- 64) " " 1928 Die Eistrift im Weddellmeer. *Ann. d. Hydrog. u. Marit. Meteorol.*, 56, 9, 265.
- 65) Rossby, C.-G., and R. B. Montgomery. 1935 The layer of frictional influence in wind and ocean currents. *Pap. in Phys. Ocean. and Meteorol.*, 3, 3, pp. 101.
- 66) Schleykin, V. V. 1938 The drift of ice-fields. *Doklady Akad. Nauk SSSR*, 19, 589-594.
- 67) 福富孝治 1943 海水の研究 (1). 亞庭灣の海水についての二, 三の觀察, 日本海洋學會誌, 3, 79-83.
- 68) 同 上 1951 海水の研究 (13). 水量の小さい海に於ける流氷塊の風による定常漂流. 低溫科學, 7, 11-24.
- 69) 同 上 1951 海水の研究 (14). 氷海に於ける定常吹送流と氷の風に依る定常漂流, 同上, 7, 25-38.
- 70) 福富孝治・楠宏・田知忠司 1950 海水の研究 (12). 海水の海水に對する相對漂流の一測定. 日本海洋學會誌, 6, 1, 18-27.
- 71) 福富孝治 1953 海水の研究 (18). オホーツク海, 特に南半部海域における流氷の風による移動. 低溫科學, 9, 137-144.
- 72) 須田院次 1948 北洋の海水分布について. 水路要報, 8, 33-42.
- 73) 福富孝治 1950 海水の研究 (4). オホーツク海中央部に於ける結氷の生成についての理論的考察. 低溫科學, 3, 143-157.
- 74) 尾形哲・中川秀一 1948 千島南部の海水に就いて. 氣象集誌, 26, 5, 138-145.

- 75) 田宮美彌 1950 北海道近海における海水について. 水路要報, 16, 294-295.
- 76) 田口龍造・野村正次 1950 流水中に含まれる泥について. 研究時報 (中央氣象臺), 1, 特別號, 140-142.
- 77) 倉品昭二 1954 オホツク海の海水. 水路要報, 40, 1-12.
- 78) 福富孝治 1950 海水の研究 (3). 沿岸海水の生成についての理論的考察. 低温科學, 3, 131-142.
- 79) 同 上 1952 海水の研究 (17). 北方海の沿岸における一年氷の厚さの最大値について. 低温科學, 9, 125-136.
- 80) 同 上 1953 海水の研究 (19). オホツク海, 日本海, 北極海の沿岸における凍結初日と気温との關係, 低温科學, Ser. A, 11, 87-94.
- 81) 同 上 1953 海水の研究 (20). 深海の表面における凍結の問題. 低温科學, Ser. A, 11, 95-106.
- 82) 福富孝治・楠宏・田畑忠司 1950 海水の研究 (6). 海水の厚さの増加について. 低温科學, 3, 171-186.
- 83) 同 上 1950 海水の研究 (8). 網走, 紋別に於ける沿岸海水の温度, 鹽分について, 低温科學, 3, 193-206.
- 84) 同 上 1951 海水の研究 (11). 網走, 紋別に於ける沿岸海水中の鹽素量に就いて, 低温科學, 6, 71-83.
- 85) 福富孝治・楠宏 1951 海水の研究 (15). 氷丘脈とその生成に就いて. 低温科學, 8, 59-88.
- 86) 同 上 1950 海水の研究 (7). 気温の周期的變化に伴う氷層中の温度分布. 低温科學, 3, 187-192.
- 87) 福富孝治 海水の研究 (10). 陸氷の氷厚増加率と気温の周期的變化との關係. 低温科學, 4, 37-42.
- 88) 福富孝治・長島富雄・楠宏 1949 海水の研究 (2). 晶氷の生成と氷殻の組織とについて. 低温科學, 2, 73-76.
- 89) 福富孝治・齋藤光郎・工藤義夫 1952 海水の研究 (16). 海水の組織特に氷殻における純氷率と短冊状氷片, 氷片集塊に就いて, 低温科學, 9, 113-121.
- 90) 福富孝治・楠宏 1950 海水の研究 (5). オホーツク海南部沿岸に於ける流水終期の一近似的豫報法. 低温科學, 3, 159-169.
- 91) 田畑忠司 1953 網走における流水終日豫報について. 低温科學, 9, 149-157.
- 92) Fukutomi, T. 1954 A summary review of ten years work in the domain of sea ice on the Okhotsk Sea coast of Hokkaido. Int. Com. Snow and Ice. 1954年ローマでの會に提出.
- 93) Kusunoki, K. 1954 Historical review of studies on sea ice in Japan. ditto.
- 94) 杉浦次郎 1950 南氷洋における氷山の分布と海流との關係について. 研究時報 (中央氣象臺), 2, 4, 112-116.
- 95) 楠宏・田畑忠司 1954 海水の試料採取方法について. 低温科學, 12, 87-94.