

ソ連邦の人工降雨研究*

当 舎 万 寿 夫**

1959年1月27日から2月5日まで、モスクワのクレムリン大宮殿にて、今後のソ連邦発展に大きな役割を演ずるソ連邦共産党第21回臨時大会が開かれ、1959年から1965年までに達成されるべきソ連邦国民経済発展目標数字が決定された。この大会にて H. C. Хрущев (N. S. Khrushchev) 首相は7ヶ年計画についての報告を行い、特に科学技術の項に触れて、大衆の意識水準が高くなる程、共産主義建設の諸計画はより成功裡に実現されることをのべ、“共産主義の物質的・技術的土台をつくりだすためには、科学の繁栄が必要であり、わが国の生産力の全面的発展に関連する諸問題の解決に科学者が積極的に参加することが必要である。7ヶ年計画は、わが国の科学者と学術機関のまゝに、このうえもなくひろびろとした活動舞台をひらいている。これこそ、力と知識のふりどころだ！”と報告した***。

ソ連邦では科学思想の発展に都合のよい条件がつくり出され、ソヴェトの学者のために研究所、実験室、観測所が設けられている。党と政府は理論的研究や実験研究の実施に幅広い援助をしている。今となっては、ソヴェトの学者達が十年程前までは実現不可能と思われていた問題をつぎつぎに解決するため、本腰を入れて研究している。これらは宇宙開発、原子力の利用等で我々がすでに知っていることである。

目下、科学の夢とされているもので実現化される見通しのついている問題は自然現象への人工作用である。気象過程の人工作用は天気や気候を変えることになり、人間社会に大きな変化をもたらすこととなる。自然現象を

変える問題は、ソ連邦国内ではすでに各地で試みられ、小地域では実施されている。この例は曾てのスターリン自然改造計画などであり、最近に至ってはベーリング海のダム工事によりシベリヤの暖化計画、ロケットを大気圏外に飛ばして、地球—太陽の熱収支関係を変えること等、まだ夢としか思われいことが次ぎ次ぎに報告され、これについて各種専門家の定量的・定性的説明が真面目に行なわれている。

自然現象の予報で、定量的理解のないものでは主として定性的関係によって行なわれ、定量的理論をつくるのが、将来の予測になる計算となった。しかし、これは現在の地球物理学では最も重要な問題であって、極めてむつかしいものになっている。現在を記述したり解折したりすることはまだ完成されていないし、予報の量的方法がはじまったばかりであるにも拘らず、科学は新らしい極めて大きな地球物理学の問題にとりくまねばならなくなった。これは地球物理学的な過程に人工作用する可能性の研究とその探究であって、その過程を人類に必要な方向へ導き、その発達を操作することである。現在、この研究は或る部分的な問題についてのみ行なわれている。

1. 革 命 以 前

雲を散らしたり、雲から雨を降らせたりする試みはかなり昔から行なわれていた。人間が経験的に得た知識については触れないことにして、実験気象学としてのべていこう。

ハリコフにあって農業改良を行っていたロシアの学者 B. H. Каразин (V. N. Karazin, 1773—1842) は空中電気の実用化、空中窒素の肥料化、ロシアに気象観測網を設ける問題に取りかかっていた。彼は1814年に“人間は或る地域の気象を調節し、雨や晴天を自由につくりだすことになるだろう。科学の限界はどこまでときめるわ

* Study of Artificial Control of Fog and Clouds in USSR.

** Masuo Tohsha, 気象研究所—1960年7月8日受理—

***) ソ連共産党第21回臨時大会、1959—1965年ソ連邦国民経済発展目標数字にかんするフルシチョフ報告・結語、東京ソ連邦大使館刊。

けにはいかない。人間の智識はたえず前進している”とのべ、空想より実現への科学発展段階を強調した。

ロシアの有名な自然科学者である Д. И. Менделеев (D. I. Mendeleev, 1834—1907) は大気を“大きな自然実験室”と名付け、大気そのものを実験の対象とした。彼の実験気象学について業績は数多くあるが、主題から逸脱するのでこゝではのべない。

ロシア気候学の創始者である А. И. Воейков (A. I. Voeikov, 1842—1916) は1884年に世界的な名著“地球気候、特にロシアの気候”を発表し、各地気候に影響する要素をしらべた。気候改造法については各種学問的に検討し基礎づけを行なった。これは“人間の自然への作用”として後になって編集出版された(1949年)。Воейков (Voeikov) の気候学的考察は20世紀になってソヴェト政府の政策に大いに貢献したことをのべねばならない。

“ロシアの雷”でその功績を高く評価された А. В. Клоссовский (A. V. Klossovskii 1846—1917) は1910年に“気象学の基礎”という書物を発表し、そこでは Менделеев (Mendeleev) の述べている“大気現象の再生”について意見を発展させた。彼は大気物理学において実験と理論の利用を主としていて、彼による気象学派を一つ作り出した。

2. 革命後

大10月社会主義革命が成功し、ソヴェト政権がレーニンの指導のもとで樹立されるや、自然を相手とする研究が急速なテンポで進められた。革命前のツァーニズムにおいては、偉大な自然科学者の綿密な研究も何一つ実現さすことが出来なかった。商業資本を投ずるに利潤が立つかつ必要があったからである。

社会主義革命後、自然科学はよい飼育場に移しかえられ、第一次5ヶ年計画には気象学に関する技術が大きく取り入れられた。この後の人工作用について述べてみよう。

1919年に中央地球物理観象台では、大気中に生ずる過程を深くしらべるため、実験地球物理学部が設けられた。この実験室の研究活動のうちで、過冷却した水から氷の芽をつくり出す研究、雪片を成長させる研究は特に降雨機構のために有意義であった。後者の研究は В. Я. Альтберг (V. Ia. Al'tberg) 教授が行なっていた。

1921年、農業人民委員会所属改良研究所が設立され、そこでは人工降雨の問題をしらべることになった。この

頃、В. И. Виткевич (V. I. Vitkevich) はモスクワで次のような実験を行なっていた。即ち、帯電した砂によって雲より人工的に雨を降らせることであった。この方法の理論をしらべていたのはレニングラードの中央地球物理観象台であって、この種の試みは Б. П. Вейнберг (B. P. Veinberg, 1871—1942) と Н. А. Булгаков (N. A. Bulgakov) がこゝで準備していた。しかも、実験室で人工霧をつくる装置の計画がしらべられていた。

Б. П. Вейнберг (B. P. Veinberg) は氷の内部応力についての研究から地球磁場の調査、太陽熱利用の研究に力を注ぎ、自然相手の研究業績は高く評価されている。彼は1924年に帯電した砂を雲にふりかける方法によって、雲から雨の計算を行なった。

1931年にモスクワで、早ぼつ対策全連邦会議が開かれた。その席上、М. А. Аганин (M. A. Aganin) が人工的に雨を降らせることの出来るという報告をした。この年に、この研究を大きなスケールで行なうため、計画がはじめられた。農業人民委員会はモスクワに人工降雨研究所を設け、С. Л. Бастамов (S. L. Bастамов) 教授がこれを指導した。同時にこの支部がレニングラード、オデッサ及びアシュハバードに設けられ、レニングラード支部は В. Н. Оболенский (V. N. Obolenskii, 1877—1942) 教授が管理者になり、オデッサ支部は М. А. Аганин (M. A. Aganin) 教授が当り、アシュハバード支部は В. А. Федосеев (V. A. Fedoseev) 教授がなった。これらの支部のうち、レニングラード支部は中央地球物理観象台との連絡が密であり、しかもその観象台における研究業績の延長にもなっていて、研究活動は特に幅広くなった。もはや、支部ではなくなり、一つの独立した研究機関になっていた。これはレニングラード実験気象研究所と1932年に改名され、上記の В. Н. Оболенский (V. N. Obolenskii) が所長をつとめた(1940年まで)。

1932年にはモスクワでは中央実験気象水理研究所(人工降雨研究所の後身)の С. Л. Бастамов (S. L. Bастамов)、С. В. Горбачев (S. V. Gorbachev) 及び Е. Г. Зак (E. G. Zak) が参加し、レニングラードでは В. Н. Оболенский (V. N. Obolenskii) の指導下にあるレニングラード実験気象研究所で В. В. Базилевич (V. V. Bazilevich)、Б. В. Кирюхин (B. V. Kiryukhin)、В. Я. Никандров (V. Ia. Nikandrov)、В. Я. Альтберг (V. Ia. Al'tberg)、Е. С. Селезнева (E. S. Selezneva)、П. Н. Тверской (P. N. Tverskoi) 及び

П. Н. Красиков (P. N. Krasikov) の参加によって活動がはじめられた。

1933年にはレニングラード実験気象研究所で第1回全連邦会議を開いた。これは降水の人工調節と霧対策についての会議である。この会議ではいろんな空想的計画と自己宣伝的な提案とふるいわける批判的議論が席上でたかかわされた。

レニングラード実験気象研究所では В. Н. Оболенский (V. N. Obolenskii) が所長を勤めている間に、大気過程の人工作用の研究がすすめられた。彼の指導によって雲への作用がはじめて試みられ、これから雨を降らせることが目的となっていた。霧への作用はこれを散らすことを目的として行った。大気の状態に作用する研究その他の実験をこゝでは技術陣をそろえて行っていた。彼の指導方針によって、1932年から1941年にかけて、上記の降水物理の実験研究と理論研究に平行して、自然条件での高周波電気放電、イオン流、帯電した砂と帯電しない砂、灰、放射能を負びた鉱石、塩化カルシウム、砕いた氷によって雲や霧に作用する試みがなされた。

レニングラード実験気象研究所で主要な立場もっていた降雨機構の研究は第二次世界戦争で中止せざるをえなくなった。レニングラード市街はドイツのファシスト軍に包囲され、自然を相手とする実験などは出来なかった。

1920年代に、В. И. Виткевич (V. I. Vitkevich) がソ連にて雲を散らしたり、雨を降らせたりする実験を試みたというデータがある。一方、1928年にはオランダで A. Veraart がドライアイスを用いる実験データを出し、彼は1931年8月にこれを実施した。これによって、約 8 km² の広さに雨を降らせることが出来た。Veraart 教授は 1.5 トンのドライアイスを用い、2500m の高度から飛行機で散布した。飛行機はこのとき、雲上から 200m を飛んでいて、ドライアイスの粉末が雲に入り込んでから、多量の雨が降り出した。砂を用いたものでは効果がなかった。この頃、ドイツの A. Berg は液体空気をボンベから噴出させて雲に作用させたが、これも同じく効果的でなかった。

Veraart は雲にドライアイスを持ち込んだ実験で、雨の降ったのを次のように解釈した。ドライアイスの粒は雲上 200m の気層を通過して、摩擦により帯電し、微細な炭酸水滴になる、このようになって出来た多数の粒子が雲に附着して、雲が大粒の水滴に変わった。この水滴が雨になって落下した。しかし Veraart は雲とドライ

アイスとの作用効果で、ドライアイスの作用をはっきりと示していないので学者達の不信を買うようになった。それでドライアイスを雲や霧に作用させることもためらうようになった。

アメリカの気象局長 Marvin 教授は 1931年に降雨機構で人工作用することが不可能であるという声明を出した。

1934年—1937年には上記のレニングラード実験気象研究所と他のソヴェト科学機関で、雲への人工作用を自然条件にて行ない、はじめて成果を与えた。これについては上記研究所や学術機関の報告に発表されている。

1910年代にロシアの物理化学者 А. И. Бачинский (A. I. Bachinskii, 1877—1944) は雨の発生で雲における固相粒の役割に注目した。これは T. Bergeron より約20年先んじたものであった。1930年代には Федосеенко (Fedoseenko) が中央アジアにて塩化カルシウムの粉末を雲に seeding する実験に成功した。これによって雨を得たと報告されている。Федосеенко (Fedoseenko) はこのときのことをのせた論文に、雨の降りをはじめ、雨滴には塩化カルシウムが含まれていたが、後になると雨滴には上記の塩がみられなくなったと報じている。この報告は人工降雨の実用的方面の評価のみならず、降雨機構の連鎖反応を示した世界最初のものとして重要である。

В. И. Оболенский (V. I. Obolenskii) は大気中に浮遊する各種粒子やイオンが水蒸気の凝結に及ぼす役割を詳しくしらべた。М. А. Аганин (M. A. Aganin), С. В. Горбачев (S. V. Gorbachev) は降雨機構で重要となっている水滴の併合過程をしらべていた。ソヴェトの物理化学者 П. С. Прохоров (P. S. Prokhorov) は水滴の弾性衝突と非併合の現象をしらべつくした。実際の雲における併合問題の一般理論は Н. С. Шишкин (N. S. Shishkin) が Langmuir よりも先に出した。

3. 第二次世界戦争後

かくて1930年代には雲の状態を変えたり、人工降雨を起させたりする実験で一応の目鼻はつけられた。しかし、多量の降水をうる事が出来なかったため、1940年代にはそれへの研究へと進展して行かなければならなかった。しかるに第二次世界戦争のはじまったおかげで、この種の研究は著しく制限をうけるようになった。戦争が終わってから、再びこの部門の科学は陽の目をみることとなった。戦争中は軍用目的のために一部分この人工作

用の成果が使われた。イギリスでは滑走路上の霧を除くために、空気を暖める方法を用いた。滑走路に沿って石油バーナを並べて点火し、霧を高さ数10mまで蒸発させた、計算上では約1000トンの水分が蒸気になったことになっている、これは毎時数百トンの燃料が使われ、水分を暖める以外に空気をも暖めることになり、熱の大部分が必要でないものにまで使われた。これは実用的な方法ではなかった。

第二次世界戦争が終了してからは、各国で人工作用の実験が大きくとりあげられるようになった。

アメリカでの人工降雨研究は特異な形態で研究が進められた。人工降雨の実験は実験室より野外実験に持ち込まれた。これは多額の費用を要し、学者個人の力ではとても出来るのではなかった。彼等は多額の実験費用をうるために企業体の利用とか、新兵器の発見とかに名をかりるようになった。ここで「気象戦争」という言葉がつかわれるようになった。

アメリカでは V. Schaefer や I. Langmuir が雲への人工作用を解説したようにのべられているが、その原理的なことは上述したようにソヴェトの学者によって解説されていることである。Schaefer は新しい科学—実験気象学—の創始者ように扱われているが、東西の文献がよく読まれるようになるとこの解説で相違が出てくることになろう。

アメリカでは雲への人工作用でいくつかのグループが出来た。これらは軍事機関から費用をえ、航空機等を広く利用して行なわれた。早稲つ地域には人工降雨の会社が出来るとなり、1949年—1953年には年間数百万ドルの利潤をあげている。

「気象戦争」として政策と軍事的目的に大きく論ぜられるようになったのもアメリカらしい科学技術である。これは敵地の気象や気候を悪くさせるのに人工作用を行なおうとすることである。アメリカの科学出版物に公然とソ連邦に「気象攻撃」をかける優位性を唱える学者も現われた。学術雑誌にまで対立的で、戦争を歌歌するのは中立なる科学の精神に反することであろう。軍に育てられたアメリカの科学者は大西洋上を西から東に走る気流（ジェット流）へ或る時間後に作用する化学薬品を用うれば、ソ連邦に早稲つを起させたり、長雨を降らせたりすることが出来るだろうとのべている。

ソ連邦でも雲や霧への人工作用問題は、第二次戦争後、活潑に研究されだした。戦争中のおくれをとりもど

すために全力が注がれた、これらは次のような研究者達によって行なわれ現在に至っている。

1) 水蒸気分子の相互作用力と空中浮遊の Aerosol との相互作用力の研究には В. Н. Оболенский (V. N. Obolenskii, 1934年), М. П. Вуколович と И. И. Новиков (M. P. Vukolovich と I. I. Novikov, 1948年) 及び, В. Я. Никандров (V. Ia. Nikandrov, 1951年) が行なった。

2) 水蒸気が各種凝結核や氷晶核に附着する機構の問題は В. В. Базилевич (V. V. Bazilevich, 1941年), Л. Крастанов* (1941年), П. Н. Красиков (P. V. Krasikov, 1946年), Б. В. Кирюхин (B. V. Kiriukhin, 1946年), В. Я. Никандров (V. Ia. Nikandrov, 1951年) が行なった。

3) 水と氷の構造は R. Evans (1948年), В. Д. Кузнецов (V. D. Kuznetsov, 1954年), В. В. Шулейкин (V. V. Shleikin, 1953年) が研究している。

4) 霧や雲の粒子構造、微細構造及び電荷の研究は Е. С. Селезнева (E. S. Selezneva, 1948年), Е. К. Федоров (E. K. Fedorov, 1951年), Н. С. Шишкин (N. S. Shishkin, 1954年) が行い、含水量と集合状態の研究は А. Д. Заморский (A. D. Zamorskii, 1955年), П. Н. Красиков (P. N. Krasikov, 1955年), А. П. Чуваев (A. P. Chuvaev, 1953年) が行なっている。

5) 霧や雲における水滴の過冷却、結氷及び氷片の融解についての研究は Л. Г. Качурин (L. G. Kachurin, 1951年), Б. В. Кирюхин (B. V. Kiriukhin, 1957年) が行なっている。

6) 雲における相変換、蒸発問題及び固相と液相との混合状態における蒸発過程の研究には, К. С. Шифрин (K. S. Shifrin, 1951年), Н. С. Шишкин (N. S. Shishkin, 1953年) の報告がある。

7) 雲粒の成長過程における現象の研究、即ち、凝結成長、併合、附着、氷片と水滴の結合、昇華による氷晶の成長には、Б. В. Дерягин (B. V. Deriagin, 1949年), Е. С. Селезнева (E. S. Selezneva, 1945年), А. Д. Заморский (N. S. Shishkin, 1950年), Н. С. Шишкин (K. S. Shifrin, 1948年), К. С. Шифрин (K. S. Shifrin, 1951年) の報告がある。

8) 対流と乱流拡散の問題には Д. Л. Лайхтман (D. L. Laikhtman, 1946年), Н. С. Шишкин (N. S. Shishkin, 1952年), А. П. Чуваев (A. P. Chuvaev, 1952年) の研究がある。

* 現在、ブルガリヤ国、ソフィヤの研究所にいる。

ソ連邦では雲から雨を降らせたり、対流性雲から生ずる雹や霰の害を防ぐ方法が研究されている。特に雹害をソ連邦南部のブドウ園でなくするために、この地方では積乱雲の発達する前段階で雲上より seeding をして成功率は80%近くまでになっている。

ソ連邦でのかかる研究は1946年から行なわれ、それを担当している機関としては、中央地球物理観象台、高層気象台及びソ連邦水理気象業務局の他の研究所、ソ連邦科学アカデミー応用地球物理研究所等がある。

ソ連邦では雲物理学に関する学会が開かれていて、1956年2月6日から11日まで、レニングラードの中央地球物理観象台で第5回の会議があった。このうちで人工作用による降雨機構の研究について基本的なものが報告された。

第6回の雲物理会議は科学アカデミーの応用地球物理研究所で1959年1月15—20日に開かれ、この会議の様子は既に一部報じてある。第5回の会議にしろべて報告数も増え、参加した学術機関数も増加した。科学アカデミーの化学研究所やウクライナ科学アカデミー化学研究所、ソ連閣僚会議所属化学委員会が今回から出席しはじめ、人工作用の問題についての解決に大いに本腰を入れるようになった。雲への人工作用で次のようなことが決議されている。

1. 雲物理学や雲・霧に人工作用する研究を強化すること。

2. 雲への人工作用を目的として水状 aerosol の化学的研究を拡大すること、その他、となっている。

ドライアイス散布する方法による実験の主たるものを次に列記しておく。

ドライアイス散布実験

年次	実験者	実験地	対象雲
1932年	Feraart	オランダ	Cu
1946年	Schaefer	アメリカ	St
1947年	Пиотрович (Piotrovich)	ソ連邦	Sc
1947年	Kraus と Squires	オーストラリア	Cu
1948年	Никандров (Nikandrov) と Чуваев (Chuvaev)	ソ連邦	Sc
1948年	Гайворонский (Gaivoronskii) と Пиотрович (Piotrovich)	ソ連邦	St
1948年	King と Halliday	南アフリカ	Cu
1949年	Coons と Gentry	アメリカ	Sc

1960年7月

1949年	Coons と Joes	アメリカ	地形性 Sc
1949年	Coons と Jones	アメリカ	Cu
1949年	Smith	オーストラリア	Cu
1950—1952年	Гайворонский (Gaivoronskii)	ソ連邦	陸上霧
1952—1953年	Никандров (Nikandrov)	ソ連邦	ダム上の霧
1954—1955年	Чувев (Chuvaev)	ソ連邦	Cu Cong
1956年	Никандров (Nikandrov) と Морачевский (Morachevskii)	ソ連邦	北の極霧
1956—1958年	Балабанова (Balabanova) と Сулаквилдзе (Sulakvilidze)	ソ連邦	Cu

Ag I を用いて雲に人工作用する実験については次に表示しておく。

Ag I による人工降雨実験

I. 発煙缶による実験

1. 地上設備

1950年	Vonnegut	アメリカ
1952年	高橋	日本
1953年	Fournie d'Albe	フランス
1954年	Гайворонский (Gaivoronskii)	ソ連邦
1955年	Georgi Fea	イタリア

1956—1958年	Сулаквилдзе (Sulakvilidze) Кирюхин (Kiriukhin)	ソ連邦
------------	--	-----

2. 航空機に取付けたもの

1948年	Coons, Jones	アメリカ
1949年	Пиотрович (Piotrovich)	ソ連邦
1952年	Никандров (Nikandrov) Красиков (Krasikov)	ソ連邦
1956年	Морачевский (Morachevskii) Никандров (Nikandrov)	ソ連邦

II. ロケット

1950年	ルユビー	フランス
-------	------	------

III. 気球

1954年		アメリカ
-------	--	------

IV. 電気缶

1950年	Никандров (Nikandrov) Красиков (Krasikov)	ソ連邦
-------	---	-----

V. コロイド溶液噴霧

1957年	Красиков (Krasikov)	ソ連邦
-------	---------------------	-----

VI. 発煙筒

1957-1958年 $\left\{ \begin{array}{l} \text{Балабанова} \\ \text{(Balabanova)} \\ \text{Сулаквелидзе} \\ \text{(Sulakvelidze)} \end{array} \right.$ ソ連邦

4. 最近の状況

1956年の夏に、ソ連邦科学アカデミー応用地球物理研究所エリプルス調査隊とグルジャ科学アカデミー地球物理研究所が一緒になり、レニングラード国立大学の参加でグルジャ共和国アラザニ溪谷にて人工作用の研究を行なった。この付近には有名なブドウ園があって、初夏には雹害によって莫大な損傷をうけていた。反応剤として Ag I と Pb I_2 を用いた。しかし、 Pb I_2 は Ag I に比べて作用効果が低く、有害であったから、 Pb I_2 を一度だけ用いたが、以後は使われなかった。

雲に反応剤を入れる方法は地上の発煙炉によったり、気球によって運んだりして行なった。実験判定を確実にするために、レーダーを用いた（波長は3.2cm、パルス電圧は50kv）。雲高が零度層を越え、過冷却部の存在している雲を対象にとった。地上発煙の Ag I が所定の雲に入りこむかどうかの判定には、ターゲット付きの気球を飛ばし、レーダーでこれを追いかけた。

かくて、過冷却水滴からなる雄大積雲より雨を降らせ、その発達を抑えることが出来た。ただ、地上発煙では上昇流が時と場所で変わるので、必ず所定の雲に反応剤を入れることの出来ない欠点があった。

ソ連邦科学アカデミー応用地球物理研究所の研究者達は同研究所所長 E. K. Федоров (E. K. Fedorov) の指導で雲物理学を研究し、雲の人工作用問題にとりくんでいる。

ここでは直径2m、高さ6m の円筒形をした cold box があって、密度、温度及び気圧のことなるさまざまな人工霧をつくり、その発展を観察し、人工霧を散らした

り、降らしたりする実験を行なっている。この box によって雲の人工作用促進剤をしらべ、方法の検討がなされている。

1960年6月10日、ソ連邦科学アカデミーの総会がもたれ、上記の所長 E. K. Федоров (E. K. Fedorov) はアカデミー会員に選出された。彼は自然状態で行なう large scale の実験で自然地理をしらべる新しい地球物理学の研究の組織者となっている。彼は気象過程への人工作用法についての研究や、地球物理ロケットによる大気研究で科学に大きな貢献をした。このことによって学者にとっては最高の地位であるアカデミー会員になった。

なおソ連邦における雲や霧への人工作用についての詳しい研究については V. Я. Никандров (V. Ia. Nikandrov) の単行本にのべられている。

本編をつくるに当って参考にした文献は次のものである。

- 1) Б. В. Дерягин и А. Х. Хргиан.
Физика образования осадков, Москва, (降雨機構物理学) 1951.
- 2) В. Я. Никандров.
Искусственные воздействия на облака и туманы, Ленинград, 1959, "人工降雨"として邦訳, ソヴェト気象, 1960).
- 3) Изв. АН СССР. сер геофиз. No. 6, 1956.
- 4) В. Н. Балабанова 他: Аразаニ流谷での人工降雨実験, Изв АН СССР сер. геоф. No. 2, 1959, (ソヴェト気象, No. 4, 1959に邦訳).
- 5) Изв. АН СССР. сер. геофиз. No. 10, 1959.
- 6) E. K. Федоров: Физические методы воздействия на погоду.
- 7) ソ連邦事情, 1959年4月1日号.
- 8) 新聞 "Правда", 1960年6月12日号.
- 9) 当舎万寿夫: 雲の分類史. 天気, 第7巻, 第2号. 1960.