

最近の日本における放射性塵の降下*

三宅泰雄** 葛城幸雄***

要旨

1963年から最近までの日本(8地点)における¹³⁷Csと⁹⁰Srの降下量の経年変化について解析を行なった。最近の中共核兵器実験は、北半球全体の⁹⁰Sr降下量に影響を与えているが、その影響の評価を行なった。

1963年~1966年の期間の⁹⁰Sr降下量の測定結果を用いて成層圏における⁹⁰Srの滞留時間を求めた結果、1.3~1.4年の値が得られた。

日本の各地点の⁹⁰Sr降下量と、北半球成層圏の⁹⁰Sr量、北半球全体への⁹⁰Sr降下量との関連についても考察を行なった。

1. はしがき

核兵器実験によって放出された放射性物質の量と分布を測定する目的の一つは、これらの物質の人体に対する影響を評価するための基礎資料をうることである。このような目的で、アメリカ、イギリス、日本等の国は協力して地球全体にわたる規模で放射性物質の降下量、土壌への蓄積量、海水中の濃度、生物、食品中の濃度、更に成層圏、対流圏内の濃度などの地理的分布と時間変化の観測をおこなってきた。これらの測定の結果、数多くの核兵器実験から放出された放射性物質の大気、地上および海洋における収支がしだいに明らかにされた。

放射性物質の大気中の濃度の時間的変化、鉛直分布とその変化、地上降下量の時間的変化、緯度分布などの調査から、大気中での放射性物質のうごきを知るにより、それをトレーサーとして空気やエアロゾルのうごき(たとえば成層圏、対流圏大気の平均滞留時間; 水平、鉛直方向の拡散の速さなど)を知ることが可能となった。

気象研究所では1957年以降、放射性セシウムとストロンチウム(¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr)などの降下量の測定を現在まで引続いて行っており、その測定の結果は既に数多く報告されている²⁾³⁾⁵⁾。

ここでは1963年以降最近までの¹³⁷Csと⁹⁰Srの降下について報告し、日本における降下量と北半球の全⁹⁰Sr降下量、成層圏における濃度などとの関連についてのべる。

1. 1961年以降の核兵器実験および爆発量

第1表に1961年から現在までに核兵器実験を行なった国名、実験地の緯度、地名および爆発全量と核分裂量、成層圏に打ち上げられた⁹⁰Sr量をしめた。

中華人民共和国(以後中共と略す)は1964年10月に新疆省ロップ・ノール地区で第1回核兵器実験を行なってからいまままでに同じ地点で合計10回の実験を行なった。このうち水爆実験は3回(第6, 第8, 第10回)、熱核材料を含んだいわゆる強化原爆は2回(第3, 第5回)、地下核実験は1回(第9回)である。

フランスは22°S附近のムルロア環礁、ファンガタフ環礁で、1966年に6回(このうち熱核材料を含む強化原爆2回)、1967年に3回(小型原爆実験)、1968年には5回(このうち水爆実験2回)の実験を行なっている。

このほか、アメリカとソ連は多数の地下核実験を行なったが、その一部では大気への放射性物質のものがみとめられた。

2. 日本における¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr降下量

第1図に札幌、秋田、仙台、東京、水戸、大阪および福岡における⁹⁰Sr月間降下量の経年変化をしめた(期間1963年1月~1969年6月)。

第2図に上記の地点(但し水戸は除く)の⁹⁰Sr積算降下量の推移をしめた。

第1図にみられるように、太平洋側の仙台、東京、水戸、大阪では毎年春から初夏に顕著なピークがみられる。これは北半球⁹⁰Sr全降下量の季節変化と似ている。これにたいして日本海側の秋田では毎年冬から春にいちぢるしいピークをしめす。札幌、福岡は上にのべた二つのタイプの間期的な季節変化をしめす。

* Recent Fallout of Radioactive Dust in Japan

** Y. Miyake 東京教育大

*** Y. Katsuragi 気象研究所

—1970年3月20日受理—

第1表 1961年以後の核兵器実験

	国名	緯度	地点	総爆発量 KT	核分裂量 KT	成層圏への ⁹⁰ Sr 放出量 (KCi)
1961年9～11月	ソヴェト	75°N	ノバヤゼムリア島	120×10 ³	25×10 ³	
1962年4～11月	アメリカ	17°N	ジョンストン島	} 37×10 ³	16×10 ³	
〃		2°N	クリスマス島			
8～12月	ソヴェト	75°N	ノバヤゼムリア島	180×10 ³	60×10 ³	
1964年10月16日	中共(1)	40°N	ロップ・ノール地区	20		
1965年5月14日	〃(2)	〃	〃	30～50		
1966年5月9日	〃(3)	〃	〃	200		
10月27日	〃(4)	〃	〃	20		
12月28日	〃(5)	〃	〃	200～300		
7月2日	フランス	22°S	ムルロア環礁	20～40		
7月19日	〃	〃	〃	60～80		
7月21日	〃	〃	〃	—		
9月11日	〃	〃	〃	100～200		
9月24日	〃	〃	ファンガタファ環礁	130		
10月4日	〃	〃	ムルロア環礁	200～300		
1967年6月6日	〃	〃	〃	10～20		
6月28日	〃	〃	〃	〃		
7月3日	〃	〃	〃	〃		
6月17日	中共(6)	40°N	ロップ・ノール地区	2×10 ³		170
12月24日	〃(7)	〃	〃	<20		
1968年7月8日	フランス	22°S	ムルロア環礁	数10		} 115
7月16日	〃	〃	〃	〃		
8月4日	〃	〃	〃	〃		
8月25日	〃	〃	ファンガタファ環礁	2×10 ³		
9月9日	〃	〃	ムルロア環礁	1×10 ³		
12月27日	中共(8)	40°N	ロップ・ノール地区	3×10 ³		115
1969年9月23日	〃(9)	〃	〃	地下核実験		
9月29日	〃(10)	〃	〃	3×10 ³		

第2表 ¹³⁷Cs および ⁹⁰Sr 年間降下量
(地点：東京 気象研究所)

	¹³⁷ Cs mCi/km ²	⁹⁰ Sr mCi/km ²	¹³⁷ Cs/ ⁹⁰ Sr
1963年	52.3	19.1	2.7
1964年	16.1	8.6	1.9
1965年	10.6	4.3	2.3
1966年	5.0	1.8	2.7
1967年	2.2	0.8	2.7
1968年	2.8	1.3	2.2
1963～1968年間の積算降下量	88.9	35.8	2.5
現在までの積算降下量	188.3	70.7	2.7

第3表 日本における ⁹⁰Sr 年間降下量
(単位 mCi/km²)

	札幌	秋田	仙台	東京	大阪	福岡
1963	21.3	40.3	17.0	19.1	13.8	20.0
1964	17.4	21.3	15.1	8.6	7.6	8.7
1965	3.8	9.9	3.0	4.3	2.4	3.8
1966	2.3	4.2	1.8	1.8	1.7	1.9
1967	1.0	1.8	0.9	0.8	0.8	1.0
1968	1.2	1.9	1.5	1.3	1.2	1.2
1969(1～6月)	0.5	1.1	0.6	0.6	0.6	0.6
積算降下量	87.2	139.8	77.6	71.3	51.2	80.4

第4表 中共核兵器実験に由来する ^{90}Sr 降下量および全 ^{90}Sr 降下量 (北半球)
(単位: kCi)

	中共核実験に由来する ^{90}Sr 降下量	全 ^{90}Sr 降下量 (北半球)
1963年	0	2620
1964年	1.6	1660
1965年	2.4	780
1966年	22	330
1967年	20	170
1968年	100	190
1969年	112	—

第5表 成層圏内の ^{90}Sr の平均滞留時間 (τ)
(期間1963~1966年)

観測地	滞留時間 (τ) (年)
札幌	1.3
秋田	1.4
仙台	1.3
東京	1.3
大阪	1.4
福岡	1.4
ニューヨーク	1.3
北半球全体	1.4

地点によって ^{90}Sr 降下量, 季節変化などに若干の差がみとめられるが, ^{90}Sr 年間降下量の経年変化の傾向には大きい差はない。

^{90}Sr 積算降下量は秋田が $140\text{mCi}/\text{km}^2$ で最も多く, ついで札幌 (87), 福岡 (80), 仙台 (77), 東京 (71), 大阪 (51) の順である。

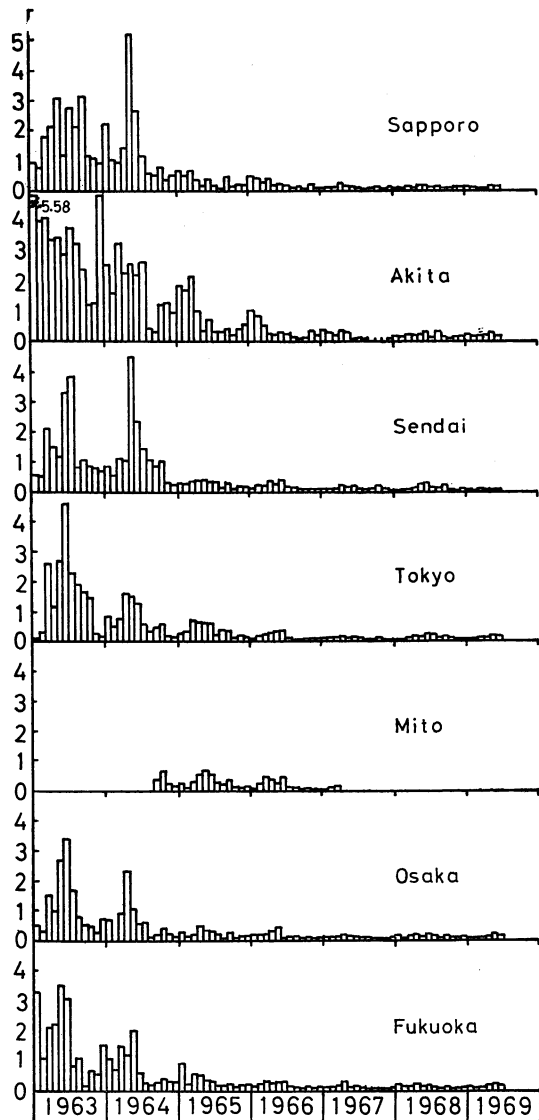
第2表に東京 (気象研究所) における ^{137}Cs , ^{90}Sr の年間降下量の経年変化をしめた。

1963年以降の ^{137}Cs と ^{90}Sr 年間降下量の比 (放射能比) は1.9から2.7の範囲であった。

東京における現在までの積算降下量は ^{137}Cs , ^{90}Sr はそれぞれ190および $71\text{mCi}/\text{km}^2$ である。

その1/2ちかくが1963年からの3年間に降下した。東京における ^{137}Cs と ^{90}Sr との積算降下量比は2.7である。

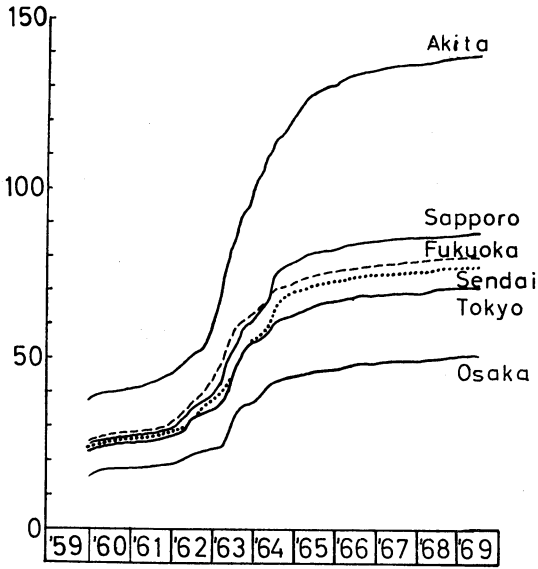
第3表に6地点の ^{90}Sr 年間降下量の経年変化をしめた。これらの地点の ^{90}Sr 降下量の経年変化は北半球全体の ^{90}Sr 降下量の時間的変化 (Volchok⁸⁾ 1969: 第4表参照) に類似している。



第1図 日本の7地点における ^{90}Sr 月間降下量の経年変化

最近の ^{90}Sr 降下には, 中共の核兵器実験に由来するもの影響があらわれている。とくに第6回核兵器実験に由来する ^{90}Sr の降下は1968年以降いちじるしい影響を与えている。次に中共の実験による北半球全体の ^{90}Sr 総降下量を若干の仮定を基にして計算した。この結果を第4表にしめた。比較のために Volchok⁸⁾ (1969) による北半球における ^{90}Sr 総降下量 (測定値) をしめた。

中共核兵器実験に由来する ^{90}Sr 降下量の全降下量に対する比は, 1964年 (0.1%), 1965年 (0.3%), 1966年 (7



第2図 日本(6地点)の⁹⁰Sr積算降下量

%)である。したがって1963年から1966年までの期間については、中共の核兵器実験の影響は測定値の誤差の範囲内である。

1963年～1966年の期間の⁹⁰Sr降下量の経年変化から1963年以前の核兵器実験に由来する成層圏内の⁹⁰Srの平均滞留時間を次の式から求めた(Miyake et al 1963).

$$S = S_0 e^{-(\alpha + \lambda)t}$$

S_0 および S は時間 $t=0$, $t=t$ における成層圏内の⁹⁰Sr量(単位: mCi/km²)をあらわす。

α は成層圏からの⁹⁰Sr除去率/年, $1/\alpha$ が成層圏の滞留時間(τ :年)である。

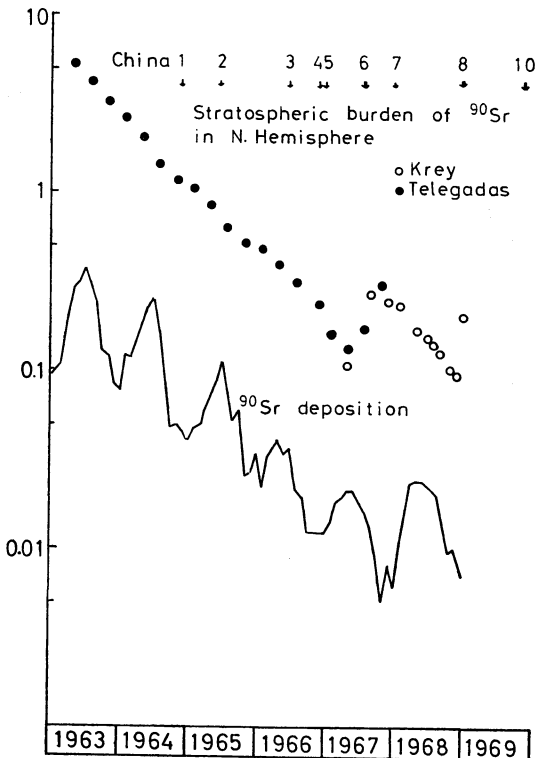
λ は⁹⁰Srの壊変定数。

t 時間に地上に降下した⁹⁰Sr量(S')は

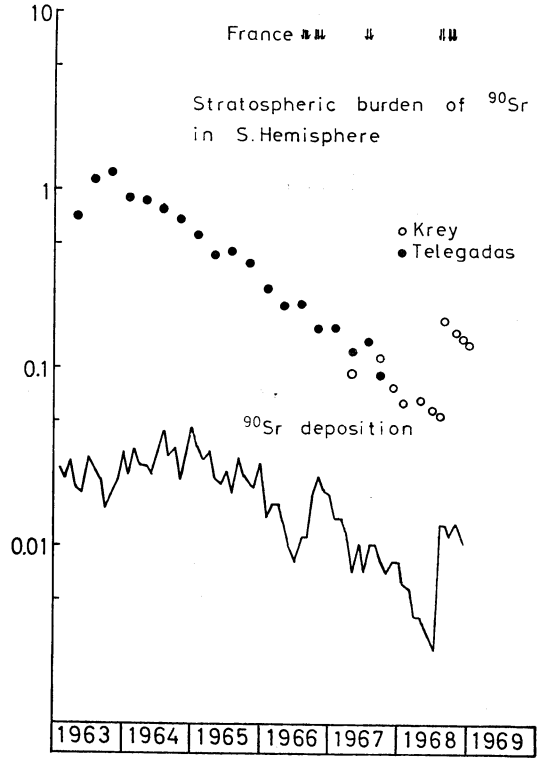
$$S' = S_0 - S = S_0 (1 - e^{-(\alpha + \lambda)t})$$

であらわされる。

前記の期間の日本(6地点)、ニューヨーク(HASL-217⁽¹⁰⁾ 1970)および北半球⁹⁰Sr降下量(Volchok⁹⁾ 1969)の測定結果から成層圏内の平均滞留時間を推算した結果を第5表にしめす。



第3図 北半球成層圏の⁹⁰Sr量および北半球全⁹⁰Sr降下量の経年変化(単位: MCi)



第4図 南半球成層圏の⁹⁰Sr量および南半球全降下量の経年変化(単位: MCi)

日本の6地点における⁹⁰Sr降下量から成層圏平均滞留時間を求めた値は1.3~1.4年のせまい範囲にある。これらの値はニューヨーク、北半球全降下量から求めた値とよい一致をしめす。

なお1963~1965年の期間の北半球成層圏の⁹⁰Sr, ⁵⁴Mn全量の経年変化から求められた滞留時間は1.2年, (Feeley¹⁾ et al 1966), Telegadas⁷⁾ (1969)の値は1.2年(第3図参照)である。

1967年以降は中共核兵器実験による影響が増加した。第4表でしめされるように、1967年では12%, 1968年では50%以上が中共核兵器実験に由来するものと考えられる。

1968年と1967年の⁹⁰Sr降下量の比は、東京、大阪では約1.6, 仙台1.4, 札幌、福岡1.2, 秋田1.1であり、これらの値の平均は1.3である。なお北半球全⁹⁰Sr降下量比は1.1であった。

1969年1月~6月と前年同期間の⁹⁰Sr降下量の比は東京(0.79), 札幌(0.82), 仙台(0.79), 秋田(0.98), 大阪(0.83), 福岡(0.80)であり平均すると0.84であった。

4. 成層圏内の⁹⁰Sr量の経年変化と⁹⁰Sr降下量の関係

アメリカ原子力委員会の High Altitude Balloon Program (気球による高度24~41km間の試料採取)と Project Airstream (飛行機による21kmまでの高度の試料採取)によって採取された試料の核種分析を行なった結果から、1963年以降の南北両半球の成層圏内の⁹⁰Sr量の時間的変化がもとめられた。(Telegadas⁷⁾ 1969, Krey⁴⁾ 1969). 測定の精度は±数10%である。

第3図および第4図に北・南両半球の成層圏内の⁹⁰Sr量および北・南両半球の全⁹⁰Sr降下量 (Valchok⁸⁾1969)

第6表 日本 の 6 地点 と 北 半 球 全 体 へ の ⁹⁰Sr 降下量の比

f : 日本
F : 北半球
(期間 : 1960年~1968年)

地 点	$f/F \left(\frac{\text{mCi/km}^2}{\text{MCi}} \right)$
東 京	6.2 ± 1.4
札 幌	7.1 ± 1.6
秋 田	11.9 ± 1.8
仙 台	6.6 ± 1.9
大 阪	4.8 ± 1.8
福 岡	6.9 ± 1.7

の経年変化をしめした(単位はいずれも MCi)。

北半球成層圏の⁹⁰Sr量(第3図)は第6回中共核兵器実験の行なわれた1967年6月まで約10ヶ月の半減期で減少した。

南半球では、フランスの水爆実験の行なわれた1968年8月まで約1年の半減期で減少している。

中共は1967年までに5回の核兵器実験を行なっているが、北半球成層圏の⁹⁰Sr量には影響がみられない。これは第1回~5回までの爆発の規模が数10kT~数100kT(⁹⁰Sr量として数kCi~数10kCiの範囲)であって、その大部分が対流圏に放出されたこと、および1964年10月~1966年末までの北半球成層圏の⁹⁰Sr量が多く、1200~300kCiの範囲であったことによる。

第6回の中共の核兵器実験は水爆であったため、1967年後半には北半球成層圏の⁹⁰Sr量は急激に増加した。水爆実験の規模は数MT級となり、放射性物質の大部分が成層圏に放出されたと考えられる。

Volchok⁹⁾(1969)によれば北半球中緯度地帯の降下物中の¹⁴⁴Ce/⁹⁰Sr比が1967年9月まで増加をしめさなかったことから、それまでに対流圏に放出された⁹⁰Sr量は無視し得ると推定している。

北半球成層圏の⁹⁰Sr量は第6回中共核兵器実験のまえには100kCi, あとでは270kCiとなった。したがってその増加量は170kCiである。この値はVolchok⁹⁾(1969)の推定値(198kCi), Telegadas⁷⁾(1969)の値(200kCi)と一致している。

成層圏の⁹⁰Sr量は1967年後半に一たん増加したのち、1968年12月まで約8ヶ月の半減期で減少した。1968年12月には、中共第8回核兵器実験の影響で再び増加した。

中共の第8回核兵器実験による⁹⁰Srの成層圏への放出量は、1969年2月における北半球成層圏の⁹⁰Zrの量から115kCiと推定された(Krey⁴⁾1969)。

第8回核兵器実験前後の⁹⁰Sr量はそれぞれ85kCiおよび200kCiであった。第3図でみられるように、1964年~1966年までの北半球成層圏⁹⁰Sr量の年間の減少量は、その年の北半球⁹⁰Sr降下量(Valchok⁸⁾1969)にほぼ等しい。しかし1963年の成層圏の⁹⁰Sr減少量(約4MCi)は北半球⁹⁰Sr降下量(約2.6MCi)より大きい、これは南北両半球間の⁹⁰Srの混合によるものとおもわれる。

1963年には、たしかに南半球成層圏の⁹⁰Sr量は急激に増加している(第4図)。

1967年末および1968年末における北半球成層圏内の

^{90}Sr 量はそれぞれ250kCiと200kCiである(第3図)。これから1969年の ^{90}Sr 降下量は前年の約80%が期待される。この値は日本の6地点の ^{90}Sr 降下量から推定される0.84の値と一致する(第3節)。

5. ^{90}Sr の北半球全体と日本への降下量

第6表に日本における ^{90}Sr 降下量(f :単位mCi/km²)と北半球全体への降下量(F :単位MCi)との比をしめした。これは1960年~1968年の9年間の平均値を標準偏差とともにしめた。すなわち北半球全体における1MCiの ^{90}Sr 降下量は、秋田の11.9 mCi/km²、大阪の4.8mCi/km²の ^{90}Sr 降下量に対応する。

本研究に種々御討論、助言を与えられた気象研究所地球化学研究部の方々、又降水試料の採取に御尽力頂いた東京、札幌、仙台、大阪、福岡の各管区気象台、秋田、水戸の各地方気象台の観測課、技術課の方々に厚く感謝する。

引用文献

- 1) Feely, H.W., H. Seitz, R.J. Lagomarsino, P. E. Biscaye (1966) Transport and fallout of stratospheric radioactive debris. *Tellus* **18**, 316-328.
- 2) 葛城幸雄 (1965) 日本における Cs-137 および Sr-90 降下について

i 天気, **12**, 323-328

II " " 377-384

- 3) 葛城幸雄 (1969) 大気化学: 人工放射性物質・化学の領域, **23**, 380-389.
- 4) Krey, P.W., M. Kleinman, B. Krajewski Sr^{90} stratospheric inventories 1967-1968. USAEC reports HASL-210 1 45-75.
- 5) Miyake, Y., K. Saruhashi, Y. Katsuragi, T. Kanazawa, S. Tsunogai (1963) Deposition of Sr-90 and Cs-137 in Tokyo through the end of July 1963. *Pap. Met. Geophys.*, **14**, 58-65.
- 6) 三宅泰雄, 葛城幸雄, 金沢照子 (1964) 放射性降下物の現状と将来. *科学*, **34**, 142-148.
- 7) Telegadas, K., (1969) The seasonal stratospheric distribution of plutonium-238 and strontium-90, March through November 1967. USAEC reports HASL-204, 1, 2-16.
- 8) Volchok, H.L., (1969) Worldwide deposition of Sr^{90} through 1968 USAEC reports HASL-210, 1, 2-12.
- 9) Volchok, H.L., M.T. Kleinman (1969) Strontium 90 yield of the 1967 Chinese thermonuclear explosion. *J. Geophys. Res.* **74**, 1694-1695.
- 10) USAEC reports HASL-217, App. 1970.

第16期 第2回理事会議事録

日時 昭和45年10月27日(火) 17:40~19:30
 場所 京都教育文化センター 南館1階8号室
 出席者 常任理事: 山本, 大田, 関口, 大井, 神山, 川村, 小平, 関原, 藤原, 岸保, 伊藤, 駒林
 理事: 孫野, 青木, 竹内, 中島, 山元, 沢田
 列席者 根本監事, 窪田長期計画委員長, 鈴木庶務員
 議題

1. 大気放射国際会議について
 気象学会が主催者となることを了承。
 準備委員会によって会議開催計画を進める。
 なお本件については来年春の総会において承認を求める。
2. 日本学術会議会員の選挙について
 立候補者を「天気」で公募し、それらを天気に掲載して選挙する方法をとる。

細部については常任理事会および選挙管理委員会に一任。

3. 大気物理研究所設立について
 本件は最新の諸情勢を勘案して既定方針とおり推進する。
4. 気象学長期計画について
 長期計画委員長より現在の進行状況報告があり、現況承認の後活発な論議がなされた。
5. その他
 大会の理事長挨拶の中に、大気放射国際会議、大気物理研究所設立経過、気象学長期計画現況と奨励金贈呈主旨等を含める。
 なお、坂田昌一氏に弔電を打ったことおよび長谷川万吉氏に山本義一外学会有志として香典と花輪を贈った旨報告があった。