

## 降下ばいじんの分析 —— 台風時における塩分の異常降下について ——

公害室 大見謝辰男・野島 巽  
本成充・宮里秀樹・大山峰吉

### 1. はじめに

昭和50年度までの当県における降下ばいじん測定点は、主に発生源周辺や都市部に集中して配置されていた。しかし、昭和51年6月より、沖縄本島全搬にわたるばいじん降下量を把握するためこれを再編し、バックグラウンド的な地域をも含めて37地点を配置した。また、昭和52年4月よりさらに3地点増やし計40地点で測定を行なっている。なお、捕集容器はダストジャーを用いている。単位は昭和51年度は $t/月/km^2$ 、52年度は $t/30日/km^2$ である。

ここでは、昭和51年度のばいじん降下状況及び台風時における塩分の異常降下現象について若干の知見を得たので報告する。

### 2. 昭和51年度における降下ばいじん測定結果

#### (1) 測定点

昭和51年度の測定点は図-1のとおりである。

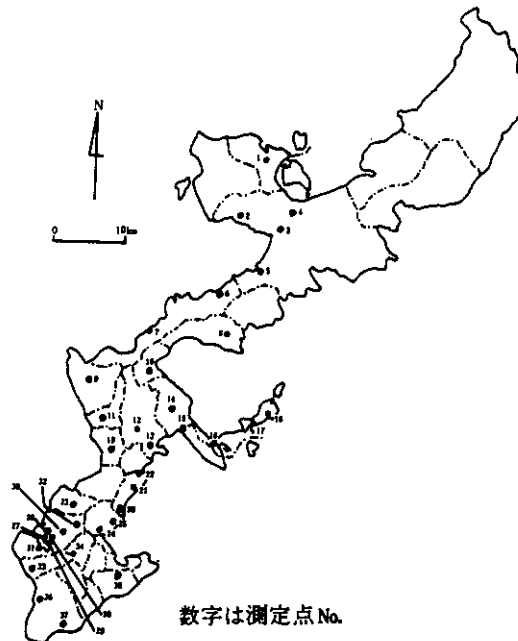
(測定点名は図-2を参照)

#### (2) 測定方法備考

- ① ダストジャー：外国製大型マヨネーズびん、 $\phi = 9.7 \sim 10.8 \text{ cm}$
- ② ろ紙：6、7月は東洋ろ紙No. 5 C、8月以降は東洋ガラス繊維ろ紙GS-25
- ③ 乾燥条件：110℃、2時間。その後デシケーターで30分放冷。
- ④ 秤量容器：溶解性物質—ろつば、不溶性物質—ろ紙と共に秤量びん。

#### (3) 測定点別ばいじん降下量の年平均値

図-1 降下ばいじん測定点 (昭和51年度)



昭和51年6月～52年3月の測定点別ばいじん降下量平均値を図-2に示す。

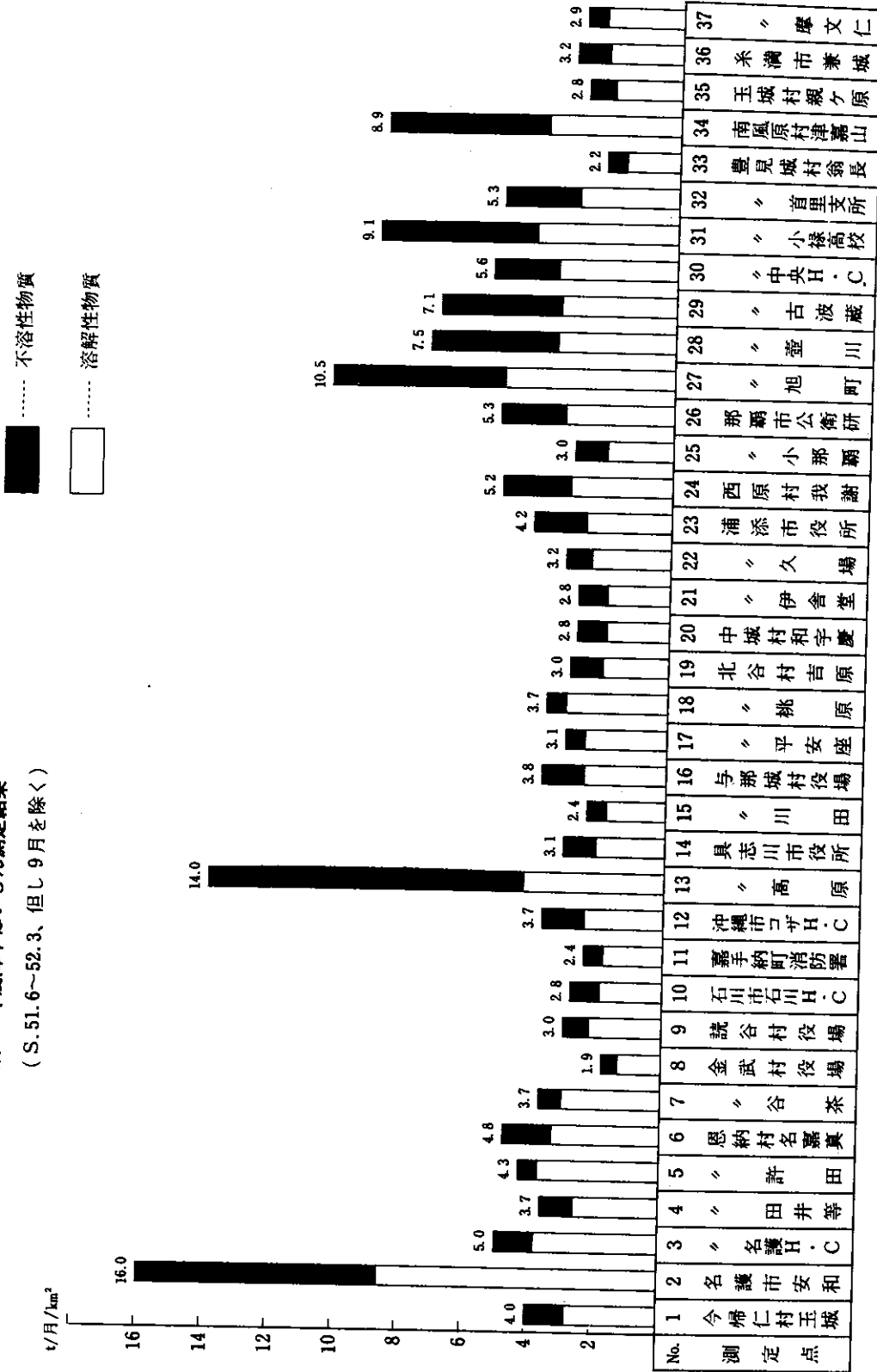
このグラフから、当県におけるバックグラウンド値は $2 \sim 4 t/月/km^2$ 程度であろうと思われる。これと比較して降下量が著るしく多かったのは次の5ヶ所である。

- ① No.2、名護市安和、 $16.0 t/月/km^2$

測定点の近くにはセメント工場があり、これからのばいじん発生が考えられるが、付近を頻繁に運行する碎石運搬ダンプカー等の影響も考えられる。

- ② No.13、沖縄市高原、 $14.0 t/月/km^2$

図一2 昭和51年度降下ばいじん測定結果  
(S.51.6~52.3、但し9月を除く)



昭和52年1～3月の3ヶ月間のみの測定値平均であるが、この期間は隣接する国道329号線の大規模な導水管工事があったため、それからの影響が考えられる。工事の完了した翌4月より、降水量は一般バックグラウンド値並みに激減している。

③ No.27、那覇市旭町、10.5t/月/km<sup>2</sup>

都市地区のベースの高さに加え、隣接する工場群からの影響も考えられる。

④ No.31、那覇市小祿高校9.1t/月/km<sup>2</sup>

都市地区のベースの高さに加え、同校のグラウンドからの土ボコリの影響もあるのではなかろうか。

④ No.34、南風原村津嘉山、8.9t/月/km<sup>2</sup>

年中を通して那覇地区並みあるいはそれ以上の降水量であること、付近に年中通してばいじんを発生するような大規模な工場がないことから、面している幹線道路で自動車によって巻き上げられたホコリ等が多降水量の原因となっていると思われる。

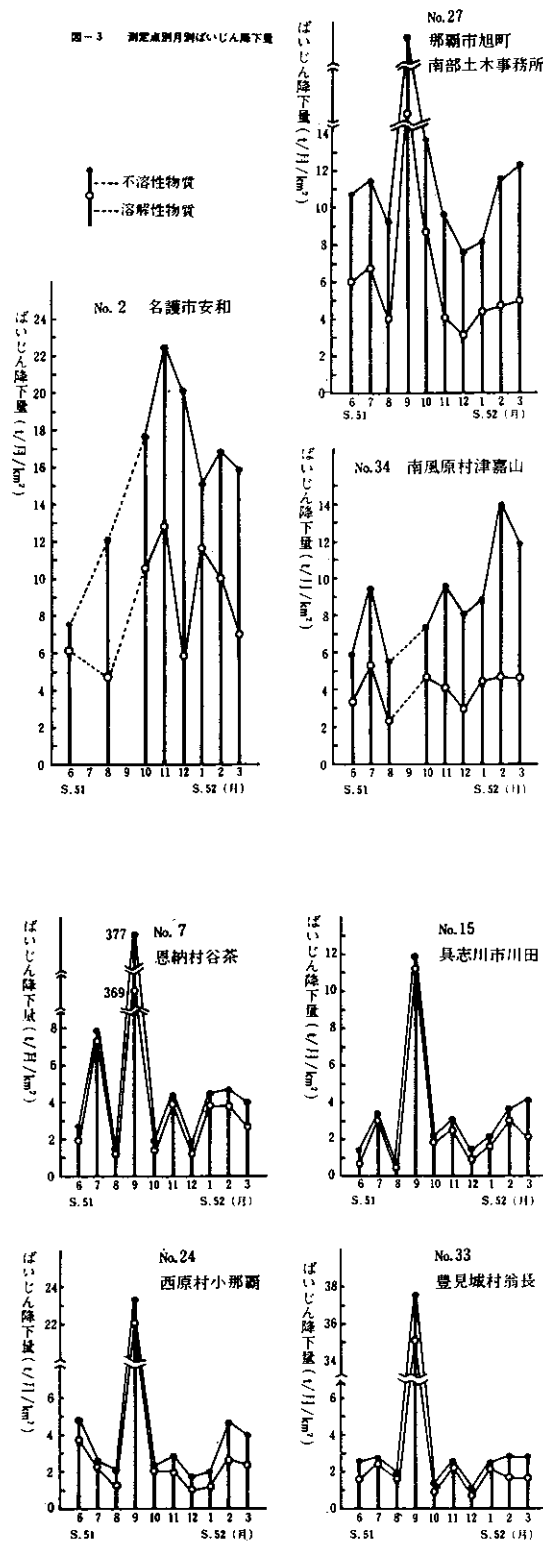
(3) 測定点別、月別ばいじん降水量

9月、測定可能全サンプルにおいて年平均値の約5～100倍のばいじん降水量が測定された。これは、後述するように、当月沖縄近海を通過した非常に強い台風17号の影響によるものと思われる。一般に、バックグラウンド的地域における月別降水量の増減のパターンはよく一致している。図-3にいくつかの測定点のばいじん降水量月別経時変化を示す。

3. 台風時における塩分異常降下について

前述のように、昭和51年9月、台風17号の影響と思われる異常降下量が測定されたが、昭和52年9月にも台風9号の影響と思われる異常降下が認められた。図-4に示されたように、台風によると思われる降下量増加は溶解性物質において著しく、不溶性物質においてはそれほど影響が認めら

図-3 測定点別月別ばいじん降水量

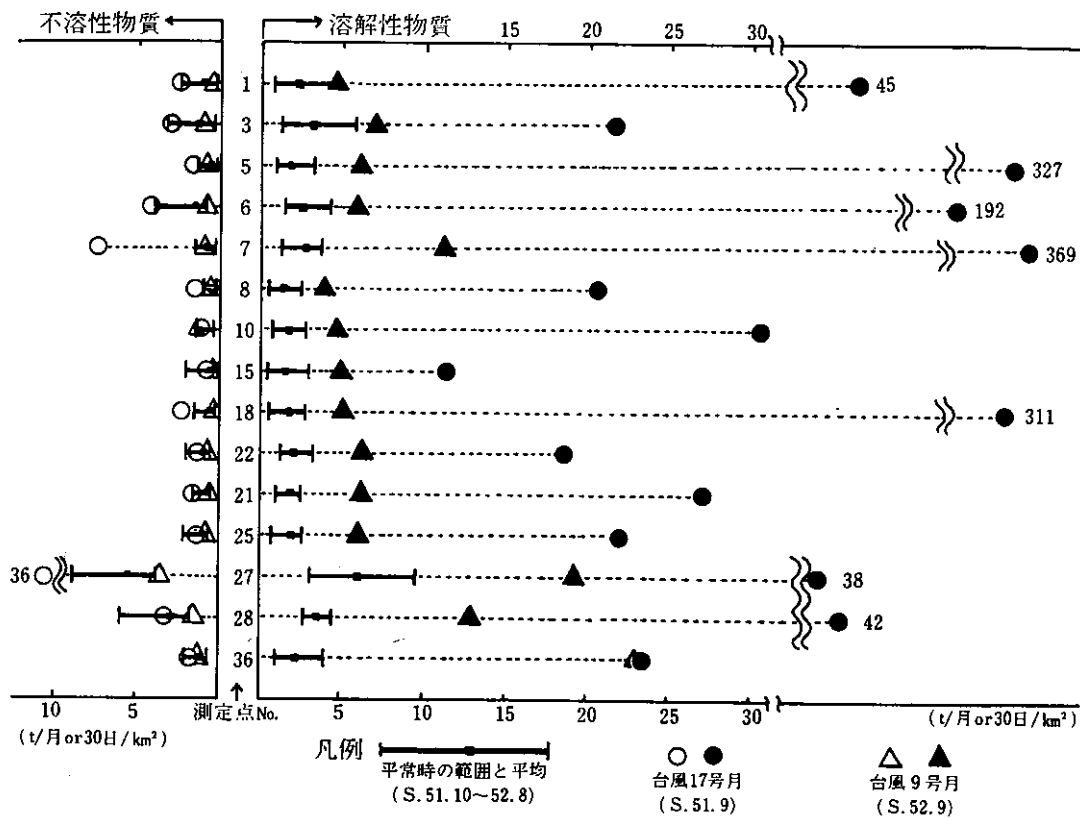


れなかった。

9月より溶解性物質中のCl<sup>-</sup>分析を開始し、考察を加えた。

台風時における溶解性降下物質は、海より巻き上げられた塩分であろうとの予測から、昭和51年

図-4 台風のあった月と平常時のばいじん降下量



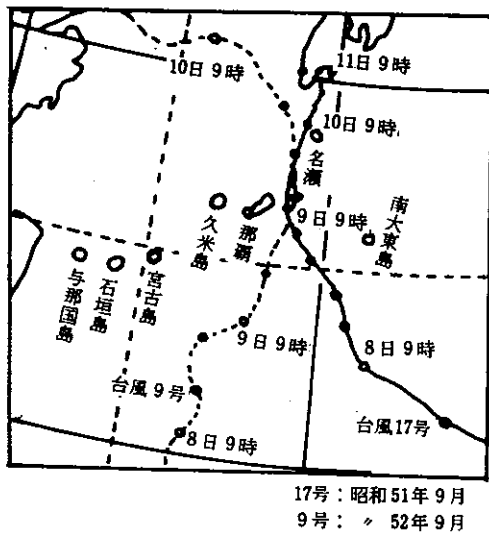
(1) Cl<sup>-</sup>の分析法

K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>指示、N/100~N/50 AgNO<sub>3</sub> 滴定のモール法で行なった。Cl<sup>-</sup>が高濃度の台風時はダストジャー中の雨水を5~50ml分取し、Cl<sup>-</sup>低濃度の平常時は、秤量後のろつぼ内の溶解性物質を三角フラスコに再溶解させ、滴定に用いた。

(2) 台風の概要

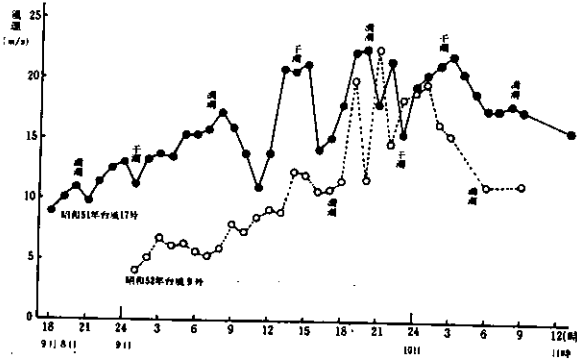
昭和51年9月の台風17号と昭和52年9月の台風9号の進路図を図-5に、沖縄気象台観測による両台風の風速を図-6に示す。両台風の暴風雨圏内時の潮位は、台風17号時は旧暦15日の大潮の満潮時に2度重なったのに対し、台風9号時は普通の退潮時であった。なお、台風時における主風向は、両台風ともN→NW→Wであった。

図-5 台風進路図



17号：昭和51年9月  
9号：昭和52年9月

図-6 風速の経時変化と台風時の潮の干満



(3) 台風時のCl<sup>-</sup> 降下量

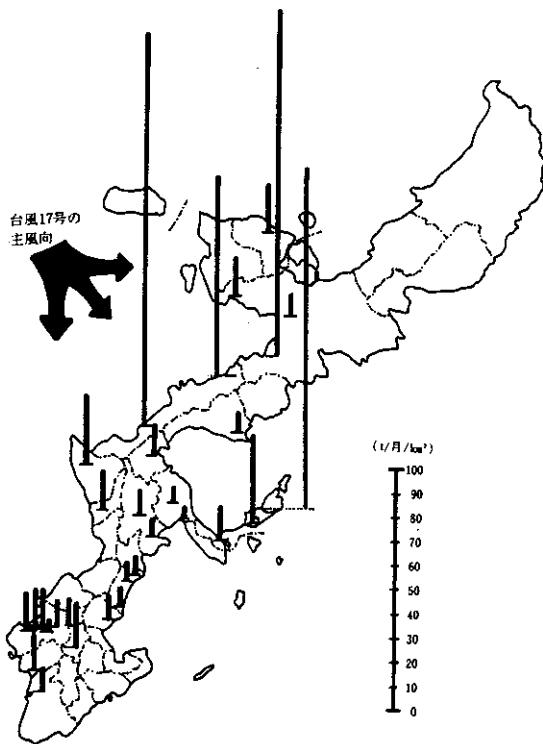
平月（昭和51年12月～52年8月）のCl<sup>-</sup>降下量は概ね1t/月/km<sup>2</sup>以下であるのに対し、台風17号のあった昭和51年9月は4.9～16t/月/km<sup>2</sup>のCl<sup>-</sup>降下量があった。それ故、当月降下したCl<sup>-</sup>のほとんどは、台風の影響で降下したものである。当月のCl<sup>-</sup>降下量を図-7に示す。また、台風の影響のあった昭和51年9月及び52年9月と平常時のCl<sup>-</sup>降下量を表-1に示す。

表-1 台風のあった月と平常月のCl<sup>-</sup>降下量

測定点	S. 51. 9 (台風17号)	S. 52. 9 (台風9号)	S. 51. 12～52. 8 (平常月平均)
今帰仁村玉城	19.7	1.90	0.59
名護市田井等	—	2.11	0.68
◇安和	16.6	2.27	0.92
◇名護H・C	10.0	2.24	0.66
◇許田	142	2.45	0.52
恩納村名嘉真	82.2	2.01	0.59
◇谷茶	161	4.94	0.68
宜野座村役所	—	1.47	0.36
金武村役所	8.3	1.42	0.36
◇嘉芸小校	—	1.61	0.37
石川市石川H・C	13.1	1.58	0.40
読谷村役場	29.2	—	0.54
嘉手納町消防署	15.9	0.80	0.55
沖縄市コザH・C	10.7	—	0.56
◇高原	8.1	1.55	0.57
具志川市役所	11.9	1.42	0.54
◇川田	4.9	1.84	0.44
与那城村桃原	141.5	2.10	0.47
◇平安座	37.7	—	0.50
◇役場	14.8	—	0.61
北谷村吉原	—	3.10	0.49
宜野湾市大山	—	5.34	0.36
中城村久場	8.0	2.49	0.54
◇伊舎道	8.3	2.38	0.51
◇和宇慶	7.7	2.30	0.44
西原村小那覇	9.8	2.65	0.49
◇我謝	—	3.11	0.70
浦添市役所	—	3.41	0.47
那覇市古波蔵	5.5	—	0.64
◇首里支所	11.2	—	0.75
◇公害衛研	—	—	0.59
◇旭町	15.2	6.63	1.17
◇壺川	17.0	5.27	0.72
◇与儀	11.2	3.94	0.71
◇小禄	16.2	—	0.93
南風原村津嘉山	18.9	—	0.61
豊見城村翁長	14.6	—	0.46
玉城村親ヶ原	—	1.74	0.51
糸満市兼城	9.7	10.9	0.73
◇摩文仁	—	—	0.51

備考 1. 空欄は設置されていない月。一印は欠測  
2. S. 51. 9～52. 3はt/月/km<sup>2</sup>、S. 52. 4よりt/30日/km<sup>2</sup>

図-7 昭和51年9月Cℓ<sup>-</sup>降下



(4) 測定点から海岸等までの距離とCℓ<sup>-</sup>降下量の関係

図-7で示されたように、台風17号時においては一般に、西側の海岸から遠ざかるにつれCℓ<sup>-</sup>降下量が少なくなっていく。それで、測定点から、当台風の主風向であるN~Wの90°方向で最も近い海岸までの距離と、Cℓ<sup>-</sup>降下量をプロットすると図-8のようになった。しかし、1km以内においてCℓ<sup>-</sup>降下量が比較的少ない測定点もあり、パターンがはっきりしなかった。次に、島を取り巻くサンゴ礁が何らかの影響を及ぼしているのではないかと考え、同様にして最も近いサンゴ礁等までの距離とCℓ<sup>-</sup>降下量をプロットすると図-9のようになり、距離に逆比例してCℓ<sup>-</sup>降下量が減少してゆくパターンが得られた。一方、台風9号のあった昭和52年9月においてはこのようなはっきりしたパターンは得られなかったが、これは台風

時のCℓ<sup>-</sup>降下量に比べて平常時のCℓ<sup>-</sup>降下量が無視できない、台風の進行速度が速く各地での潮の干満等の条件が均一でない、その他、種々の理由によるものであろう。

図-8 測定点よりN~NW~W方向海岸線までの最短距離とCℓ<sup>-</sup>降下量 (昭和51年9月)

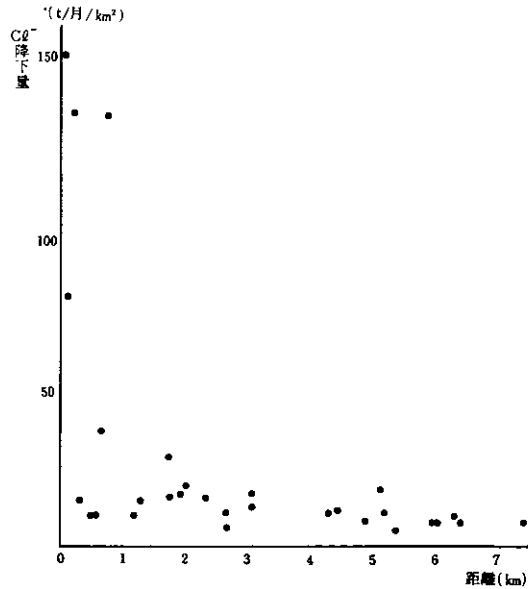
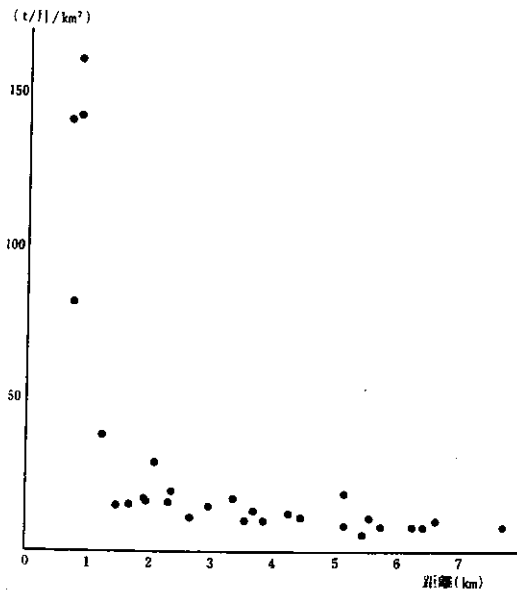


図-9 測定点よりN~NW~W方向サンゴ礁等までの最短距離とCℓ<sup>-</sup>降下量 (昭和51年9月)

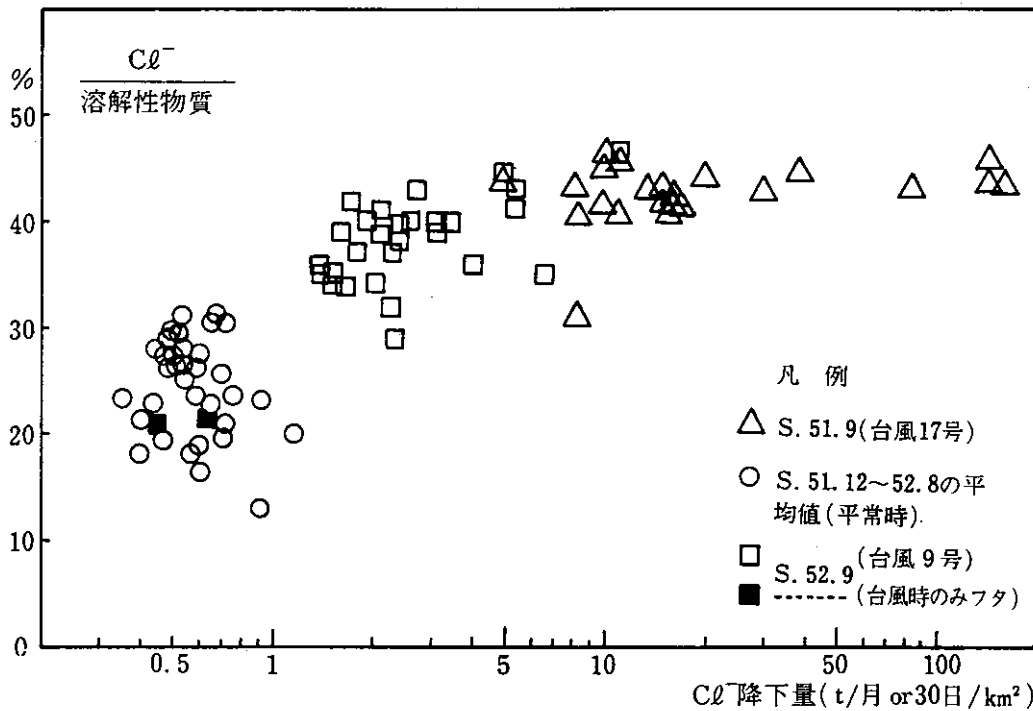


(5) 台風時の降雨量と $Cl^-$ 降下量の関係  
 沖縄気象台地域気象観測所による台風17号時の降雨量と同地における $Cl^-$ 降下量とは相関が得られなかった。

(6) 溶解性物質中の $Cl^-$ の割合  
 台風によって $Cl^-$ 降下量が増加すると、その月

の溶解性物質中に占める $Cl^-$ の割合も増加し、約45%程度まで達する。(図-10) また、台風17号と9号では、3-(2)で述べたような気象条件からその影響度が異なるため、 $Cl^-$ 降下量や割合の分布状況も異なっている。

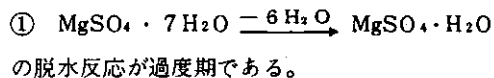
図-10  $Cl^-$ 降下量と、その溶解性物質中の割合



(7)  $Cl^- \rightarrow$ 海水塩分換算係数  
 海水は約3.5%の塩分を含み、その塩分中の55.04%は $Cl^-$ である。(表-2) しかし、海水を濃縮して当測定における乾燥温度110℃に保つと表-3のように結晶水を含んだ分子構造となり、みかけの塩分重量が増加するので相対的に $Cl^-$ の割合が低くなり48.4%となる。実際に標準海水を用いて測定条件どうり110℃で2時間乾燥させると表-4のようにかなりのバラッキとなり、その割合を平均すると44.4%となった。

しかし、これをさらに一晚乾燥させるとバラッキがほとんどなくなった。(表-4)

110℃で2時間という乾燥条件では、



②  $MgCl_2$ の潮解性が強く、いくらかの水分をまだ保持している。

ことが考えられ、これら乾燥過度期の余剰な水分のために、塩分秤量時のバラッキが大きく、また見かけ上の塩分重量が増大するので、相対的な

表-2 標準海水の塩分組成

成分	海水100g中のg数(g)	総塩類に対する比(%)
NaCl	2.7213	77.758
MgCl <sub>2</sub>	0.3807	10.878
MgSO <sub>4</sub>	0.1658	4.737
CaSO <sub>4</sub>	0.1260	3.600
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.0863	2.465
CaCO <sub>3</sub>	0.0123	0.345
MgBr <sub>2</sub>	0.0076	0.217
合計	3.5000	100

総塩類に対する  
Cl<sup>-</sup>の比 55.04%

表-3 110℃での結晶状態と組成

成分	海水100g中のg数(g)
NaCl	2.7213
MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.8129
MgSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	0.1906
CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.1593
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.0863
CaCO <sub>3</sub>	0.0123
MgBr <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.0121
合計	3.9948

48.4%

表-4 標準海水での実験値(110℃)

海水量(ml)	Cl <sup>-</sup> /塩分重量(%)	
	Dry. 2hrs	Dry. 18hrs
1	43.4	—
2	48.9	—
3	40.5	50.6
3	44.2	50.3
3	45.8	49.3
3	46.5	50.1
4	41.6	—
平均	44.4	50.1

44~45%

Cl<sup>-</sup>の割合はさらに低くなる。

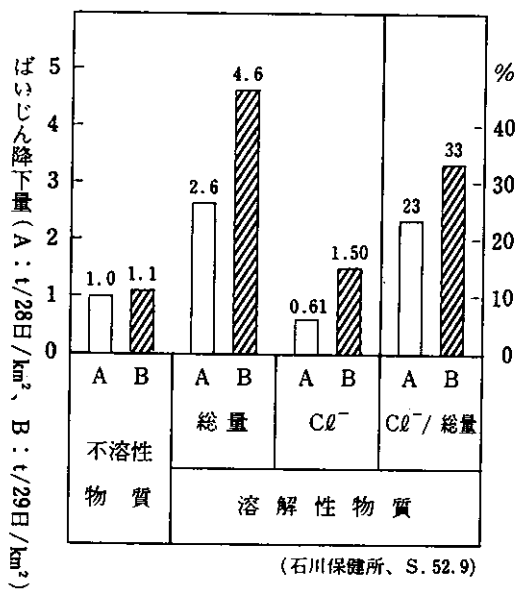
昭和51年9月(台風17号)における溶解性物質中に占めるCl<sup>-</sup>の割合は1点の例外(30.8%)を除き40.3~46.2%の範囲であったが、表-4の結果とよい一致をみた。また、3-(6)で述べたように、Cl<sup>-</sup>降下量増大と共に溶解性物質中に占めるCl<sup>-</sup>の割合は約45%程度まで達するが、海水での実験の平均値、44.4%とよく一致した。

これらのことより、Cl<sup>-</sup>降下量から見かけ上の海水塩分降下量を推算するには、Cl<sup>-</sup>降下量を0.45で除すことにした。

(8) 台風時における溶解性物質降下量の検討

降下ばいじん測定における誤差を検討するため、石川市石川保健所に4個のダストジャーを並置していた。昭和52年9月、台風9号接近の際、台風の影響を調べるため、9日AM10時~翌10日AM10時の1日間、2個はフタをして屋内に取り入れ(以下A)、他の2個はそのまま屋上に放置(以下B)していた。その結果は図-11である。なお、Cl<sup>-</sup>に関するこれらの測定値を図-10にあてはめると、Aは平常時の、Bは台風時のパターンとなった。

図-11 ばいじん降下量に及ぼす台風の影響



A: 台風時のみ屋内に取り入れる

B: 台風時もそのまま屋外放置

A-B間の測定値の差は、即ち台風時に降下したばいじん量であるが、不溶性物質降下量については通常の測定誤差範囲内であったのに対し、溶解性物質降下量、Cl<sup>-</sup>降下量、溶解性物質中に占めるCl<sup>-</sup>の割合等は通常の測定誤差の範囲から大



きく逸脱していた。この台風時に降下した溶解性物質が海水塩分かどうか、 $Cl^-$ の差より検定してみた。即ち、

① 台風時における溶解性物質降下量

= Bの溶解性物質降下量 - Aの〃

=  $4.6 - 2.6 = 2.0$  (t/日/km<sup>2</sup>)

② 台風時降下の見かけの海水塩分降下量

= 台風時の $Cl^-$ 降下量 / ( $Cl^-$  → 海塩換算係数) =  $(1.50 - 0.61) / 0.45 = 2.0$  (t/日/km<sup>2</sup>)

∴ ① = ②

(9) まとめ

① 台風時に異常降下する溶解性物質は、ほとんどが海より飛散してきた塩分であろう。

② その海塩の降下量は昭和51年台風17号時には多い所で平常時の25年分、少ない所でも1年分はあった。一方、昭和52年台風9号時には数ヶ月分であった。

③ 距離による海塩降下量変化については、台風の状態、地理的条件、潮の干満等、多くの要素が何らかの影響を与えらると思われるので今後データを重ねて検討したい。

④ 平によると「サンゴ礁に囲まれた沖縄地方の台風に伴う波浪災害は、reefの上で砕波のために発生した塩水しぶきや海塩が陸上に飛来して……中略……起因するものが大きな比重を占める。」ということであるが、これは図-9サンゴ礁からの距離関係とよく一致する。当県におけるサンゴ礁は一種の防波堤の役目を果しているであろう。

⑤  $MgCl_2$ のような潮解性の強い物質が多量混入している際、従来の乾燥条件 (110℃、2時間) では乾燥不十分で、秤量のバラツキが大きい。

(10) 補足—沖縄県における塩害の一考察

昭和51年台風17号時、 $Cl^-$ 降下量から単位面積あたりに降下した海水の量を推定すると、約0.26 ~ 8.5l / m<sup>2</sup>であった。しかし実際の植物や建築物等は三次元構造であるので、横なぐりの塩分量も含めるとかなりの量の塩分が地表に降下したのではなかろうか。

当県においては一般に、他県よりも金属がサビやすいと聞くことがあるが、これは台風時の高濃度塩分ミストの付着、さらには台風一過後の南国の強力な太陽光線 (熱+紫外線) による化学反応の促進等も一役買っているのではなかろうか。台風後、特に海岸近くにおいて、車両や屋外金属類に付着した塩分を洗い落すことは、サビの進行を抑える有効な一手段であろう。

最後に本報をまとめるにあたり、台風等のデータを快く提供して下さった沖縄气象台、及び実際の塩害状況をお教えいただいた民間業者の方々に深く感謝致します。

#### 参考文献

- (1) 沖縄气象台、1976、9.20 異常気象速報
- (2) 理化学辞典、岩波書店
- (3) 平啓介、サンゴ礁における砕波と海塩の生成、1976、沖縄の台風災害の研究 (第4回環境保全・公害防止研究発表会で一部発表)