

琉球大学学術リポジトリ

沖縄本島における雨とDry Falloutの化学的研究

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学理工学部 公開日: 2012-04-13 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 渡久山, 章, 伊良部, 正昭, Tokuyama, Akira, Irabu, Masaaki メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/24076

沖縄本島における雨と Dry Fallout の化学的研究

渡久山 章 伊良部 正 昭

The Chemical Studies of Rain and Dry Fallout
in OKINAWA HONTO

Akira TOKUYAMA and Masaaki IRABU

Summary

In OKINAWA HONTO, the Cl^- concentrations of river and spring waters are 20–50 ppm. What mechanisms are considered to supply these Cl^- concentrations? To explain these Cl^- concentrations, the authors have collected rain and dry fallout by two methods. One of these is a bucket method and other is a wall method. The Cl^- quantities supplied by bucket method are calculated to be 10 to 17 mg per liter, and by wall method, if the sampling areas are same, about 80 per cent of quantities gathered by bucket method will be gathered. Considering the factors of chemical materials transportation among sea, air and lands, the typhoon must be picked up at first in this island. For example, Cl^- quantities descended to land in the time of the typhoon 17 th in 1976 was over 100 times in the usually sky.

The Cl^- quantities descended are deduced with the distance from the sea, but the inverse proportion of the first degree are not between Cl^- quantities and the distance from the sea.

The total quantities of dissolved materials descended per year to OKINAWA HONTO are calculated to be over ten thousands tons.

The origin of chemical species (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-}) in rain and dry fallout is considered to be the only sea, but in the river and spring waters, excess quantities which are calculated based on the chemical composition of sea water are dissolved for these chemical species.

結 言

沖縄本島は面積が1250 Km^2 くらいの島であり海からの陸への影響は日常生活の面でもいくつかの点で問題である。例えば陸地における河川水や大気中の塩分が高く農業や建築物や金属製の道具などへの塩害が大きいことなどである。

沖縄の河川水の化学分析結果はすでいくつか報告されている。兼島(1965)は沖縄各地の河川水と地下水の分析結果を報告した。それをみると沖縄島の河川水の Cl^- 濃度として南部地域で40–60ppm、北部地域で20–30ppmである。日本の河川水全体の平均 Cl^- 濃度は5.8ppmであり世界河川の平均 Cl^- 濃度は7.9ppmである(北野、1969)。渡久山(1972)は沖縄島南部の河川

水のCl⁻濃度として30-50ppmを報告し、さらに1977年5月に採集した試料について沖縄島南部の河川水のCl⁻濃度として25-40ppm、北部河川水のCl⁻濃度として20-30ppmという値を得ている(未発表)。

このように日本全体や世界全体のCl⁻濃度と比較すると数倍にもなる沖縄本島の河川水のCl⁻は全て雨とDry Falloutによってのみ供給されるものとして説明できるだろうか。

雨の化学組成は平良(1976)によって報告された。彼は沖縄本島南部の二ヶ所で5月から10月にかけて試料を集め分析した結果平均Cl⁻濃度として5.9ppmをだした。平良(1976)のデータについて台風時を除いて計算しなおすとCl⁻濃度として約2ppmを得る。

沖縄本島におけるDry Falloutについての報告は未だなされてない。もし河川水のCl⁻濃度が全て雨とDry Falloutで供給されるのならDry Falloutによってもたらされる量は雨によってもたらされるものの数倍多くなければならない。

本研究の目的は沖縄本島において雨とDry Falloutによって供給される物質量を求め、それら物質の供給源を考え、雨とDry Falloutによって供給される溶存物質の量と組成を河川水のそれらと比較してそれらがどんな関わりあいをもっているかを考えることである。

方 法

1. 試料採集方法

雨とDry Falloutによってもたらされる物質を捕集するのが目的であり次の二つの方法をとった(角皆、1972)。

方法(a)-図1(a)に示すような大きさのポリバケツを地上5m以上のコンクリート建物の屋上を利用して一定期間固定し真上からと横からのいくらかの角度をもって入ってくる雨とDry Falloutを集める。

方法(b)-東西南北から横向きにきた雨とDry Falloutをも集めるために図1(b)に立面図で示すように板で同じ大きさの壁をつくり各面に30cm×110cmのガーゼ又はタオルをかけ下に蒸留水を入れたポリバケツをおき〔これは方法(a)で雨+Dry Falloutを集めていることにもなる〕、上にも蒸留水を入れたポリタンクをおいていつでもガーゼやタオルが湿っているようにし、できるだけ風によって運ばれてきた物質をにがさないようにする。なお方法(b)で採集するときには側に方法(a)によるバケツをもおいておく。

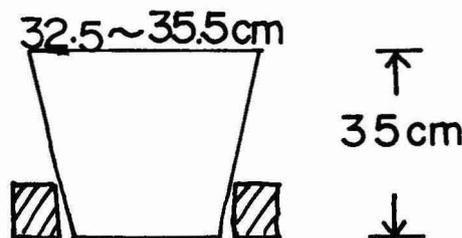


Fig. 1 (a) A Bucket for Sampling Method (a)

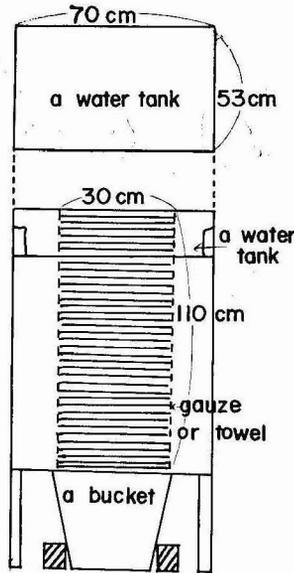


Fig.1 (b) A Wall for Sampling Method (b)

2. 試料採集地点

図2に示す。沖縄本島の南部から北部の沿岸地域及び海から離れた地域を選んで行なった。できるだけ周囲に障害物がない場所を選んだ。

図3には河川水及び湧水の採水地点を示した。図中の番号は表3の試料番号と一致する。



Fig.2 Sampling Points of Rain and Dry Fallout



Fig. 3 The Sampling Localities of River and Spring Water

3. 試料の前処理

採集方法 (a) の場合一バケツにたまつた溶液と不溶解物質をも全て蒸留水で洗浄してとり 5 l ビーカーで加熱濃縮して No. 5 C の東洋沓紙で沓過して沓液を 1 l にし分析に供した。不溶解物質は乾燥後秤量する。

採集方法 (b) の場合一タオル及びガーゼ (使うまえにはよく洗浄してある) と下のバケツにたまつた物を集める。5 l のビーカーに蒸留水を入れてタオルやガーゼを入れ 1-2 時間加熱しタオルやガーゼ洗浄水を別のビーカーに移してタオルやガーゼが入っているビーカーには更に蒸留水を加えて 1-2 時間加熱する。この操作を 3~4 回くり返し硝酸銀を用いて洗浄終了を確認し洗浄水を No. 5 C の沓紙で沓過して 1 l にして分析に供する。採集方法 (a) と (b) を同一場所で同時に行なえばガーゼやタオルだけに、たまつた量を計算できる。

4. 分析方法

Cl⁻: K₂CrO₄ を指示薬として AgNO₃ で滴定する方法とチオシアン酸第二水銀比色法

SO₄²⁻: BaSO₄ として沈殿させる重量法とトリウム-モリン錯体を利用する吸光光度法

Mg²⁺, Ca²⁺: EDTA による滴定法と原子吸光法

Na⁺, K⁺: 原子吸光法

結果及び考察

分析結果を表 1、2、3 に示す。表 1 には試料採集方法 (a) によって集めた試料の、表 2 には試料採集方法 (b) と (a) によって集めた試料の、表 3 には河川水の分析結果を示す。表 2 で 1 回目の採集の時採集期間の最後までちゃんとはられていたガーゼは南側だけだった。それでこの値だけをあげてある。

化学種の濃度は mg で表わされており例えば、Sample No. 1 の Cl⁻ の場合 54 mg の Cl⁻ がバケツ

Table 1 Chemical composition (mg) and other necessary descriptions of rain and dry fallout collected by sampling method (a)

sample no.	Cl ⁻ titration	SO ₄ ²⁻ gravimetric	Ca ²⁺ titration	Mg ²⁺ atomic adsorption	Na ⁺ //	K ⁺ //	insoluble matters (mg)	estimated water quantities in a bucket (1)	remained water quantities (1)	areas of bucket (cm ²)	distances from the sea (km)
1	54	17	12	2.1	29	1.6	116		2.06	829	0.15
2	41	11	13	2.9	24	1.3	135	6.38	5.00	//	0.3
3	37	16	28	2.6	21	0.85	107	12.6	10.85	//	1.0
4	23	11	10	0.97	14	0.65	111	3.9	3.50	//	1.3
5	29	17	25	1.8	16	0.9	100	7.71	7.69	//	1.8
6	24	14	14	1.7	14	0.7	63		2.84	764	2.3
7	380	64	48	11	228	9.5	361	22.4	6.86	829	
8	202	43	31	7.1	115	4.9	184	21.4	16.91	//	
9	152	29	20	9.6	86	3.6	75	11.9	3.27	//	
10	170	40	27	6.9	100	6.6	492	19.5	7.30	//	
11	148	38	25	7.3	83	3.8	214		2.71	//	
12	50				29	1.6	384		2.22	989	0.2
13	71				39	2.1	508	5.39	3.25	829	
14	33				17	0.7	86	2.65	1.50	//	
15	33				22	4.4	841	3.32	2.50	//	
16	36				22	1.5	306		3.47	//	
17	115	38	25	6.6	62	1.9	96		7.9	989	
18	102	29	26	3.9	60	2.3	13	13.2	9.4	829	
19	74	29	9.4	5.6	40	1.9	61	9.9	9.9	//	
20	79	29	25	3.5	47	6.0	911	9.28	8.6	//	
21	76	34	31	3.4	42	1.7	119		6.0	//	
22	59	21	16	1.4	31	1.9	214		5.2	133	4
23	98	27	38	5.4	77	3.0	225		4.7	829	
24	201	81	50		124	5.6	258		5.3	764	
25	119	37	35	1.9	69	4.0	439	24.5	9.8	989	4
26	41	17	23	2.7	24	1.2		4.64	2.6	829	
27	890	126	32	61	190	7.8	85	13.8	11.7	//	
28	25	5.4	2.2	1.6	14	0.28	14	3.5	2.6	//	
29	6.1	10	11	0.48	3.7	0.2	34	1.9	0.1	//	
30	29	10	13	2.1	14	0.6		2.4	0.0	989	
31	21	13	8.1	1.3	8.5	0.35		2.4	0.0	829	

に入っていたことになるしNo.32の場合にはガーゼと下のバケツを合わせて297mgのCl-が捕集されてきたことを表わしている。

continued Table 1

sample no.	average wind velocity (m/s)	most frequency direction of wind	locality of sampling	sampling terms	height of sampling points	times of sampling
1 2 3 4 5 6	2.38	SE	CHINEN ** HENTONA ** NAGO * GINOZA ** ISHIKAWA ** FUTENMA **	'76 Aug. 17~Aug. 31	roof of the fourth floor roof of the second floor roof of the second floor roof of the third floor roof of the third floor roof of the fourth floor	first
7 8 9 10 11	3.52		HENTONA NAGO GINOZA ISHIKAWA FUTENMA	'76 Nov. 4 ~Nov. 29		second
12 13 14 15 16	2.19		YONABARU* NAGO GINOZA ISHIKAWA FUTENMA	'76 Nov. 29~Dec. 26	roof of the second floor	third
17 18 19 20 21	2.55		YONABARU NAGO GINOZA ISHIKAWA FUTENMA	'76 Dec. 26~'77 Jan. 23		fourth
22 23 24	4.60 2.43 4.93		Ishimine	'76 Oct. 12~Nov. 8 '76 Aug. 12~Sep. 8 '76 Nov. 9~'77 Jan.18	roof of the second floor	
25 26 27 28 29 30	4.98 3.65 13 8.2 3.59 4.23		Ryudai kiden	'76 Jul. 6 ~Aug. 5 '76 Aug.17~Aug. 31 '76 Sep. 8 ~Sep. 10 '76 Sep. 10~Sep. 12 '76 Sep. 14~Sep. 22 '76 Sep. 25~Oct. 9	roof of the third floor	
31	4.23		Ryudai doboku	'76 Sep. 25~Oct. 9	roof of the third floor	

*Junior high school

**High school

Table 2 Chemical composition (mg) and other necessary descriptions of rain and dry fallout collected by sampling methods (b) and (a) at the University of the Ryukyus

sample no.	times of sampling	sampling method	direction of sampling walls	Cl ⁻ spectroscopic	SO ₄ ²⁻ gravimetric	Ca ²⁺ titration	Mg ²⁺ atomic adsorption	Na ⁺ //	K ⁺ //	insoluble matters (mg)
32	first	(b) + (a)	south	297	92	3.8	10			
33	fourth	(b) + (a)	east	53			2.5	24	1.5	
34			south	50			1.5			
35			west	40			2.3			
36			north	56			3.6			
37		(a)		12	3.9	5.2	0.7	5	0.15	20
38	fifth	(b) + (a)	east	58	66	58	6.6	82	5.9	
39			south	80	71	41	4.1	89	5.7	
40			west	80	86	67	8.5	72	5.8	
41			north	100	72	35	6.7	76	4.8	
42		(a)		15	9.1	17	0.8	8.5	0.5	68

continued Table 2

sample no.	most frequency direction of wind	areas of sampler (cm ²)	sampling terms	average wind velocity (m/s)	hight of sampling point
32	NE~NNE	3300+829	'76 Dec. 23~'77 Jan. 3	5.43	
33 34 35 36 37	NE } NNE	3300+829 829	'77 Jan. 12~Jan. 14	6.17	roof of the third floor
38 39 40 41 42	NE } E	3300+829 829	'77 Jan. 15~Jan. 25	4.17	

Table 3 Chemical composition of river and spring waters (ppm)

sample no.	Cl ⁻ titration	SO ₄ ²⁻ gravimetric	Ca ²⁺ titration	Mg ²⁺ atomic adsorption	Na ⁺ atomic adsorption	K ⁺ atomic adsorption	locality	sampling date
43	31	10	76	3.9	18	0.6	GIZABANTA YOZA SUIGEN OTOKO-GA SHIKINAEN KINGYO Cho GIBO HIGAWA	'77 Jan. 27
44	34	16	100	5.7	19	4.7		
45	25	7.5	94	5.6	17	1.3		
46	35	23	120	5.1	26	1.9		
47	38	35	85	8.2	31	6.4		
48	42	25	90	6.5	33	13		
49	31	12	51	3.4	16	0.4	NUHA GAWA YONA GAWA // //	'77 Jan. 31
50	25	5.5	3	2	15	0.5		
51	25	7.5	4	3	19	0.7		
52	20	3.5	4.4	1.8	14	0.4		

Cl⁻、SO₄²⁻、Mg²⁺ では分析法の違いによる分析値の違いは小さく以下の議論にはどの方法による値を用いてもかまわない。ところがCa²⁺ では原子吸光法による値が常に小さい。この理由は未だわからないが、試料に蒸留水を加えて原子吸光法で測ってみると蒸留水を加えないで測った場合よりも高くでる。Ca²⁺ 濃度が原子吸光法で小さくでるのは試料を加熱濃縮したせいかもしれない。それでここではEDTA滴定による値を採用した。

なお以下の議論ではCl⁻の値としては断らない限り滴定法による値を、SO₄²⁻の値としては重量法による値を、Mg²⁺の値としては原子吸光法による値を用いと。

1. 雨とDry Falloutによって供給されるCl⁻量

沖縄本島における河川水のCl⁻濃度は20~50ppmである。これらの中どれだけが雨とDry Falloutによって供給されるかを今回のデータを基にして計算してみる。

試料採集方法(a)によって集めたSampleについて表-1をみるとポリバケツに入ってくる化学種の量は同じ時期でも場所によって、同じ場所で同じ日数かけて採集しても時期によって違うことがわかる。ここではまず平均値を求め、それに従って論じる。

今各採集地点の近くで降水量が測定されている値を用いてポリバケツを設置しておいた期間中にポリバケツにたまるであろうと思われる水の量を推定水量として、ポリバケツにたまっていたCl⁻量を推定水量で割った値(mg/l)を計算(平均値)してみる。つまりポリバケツにたった水が全く蒸発しないでいると雨とDry Falloutによって供給されたCl⁻の濃度はポリバケツの中でいくらになるかということである。この値から雨によって供給されたCl⁻量を引くとDry FalloutによってもたらされるCl⁻量を推定することができる。

各地の学校で集めた四回の試料についての計算結果を表4に示した。蒸発が全くないとした時雨とDry Falloutによって供給されるCl⁻濃度の平均値は9.9ppmと推定される。雨のCl⁻濃度として5.9ppm(平良, 1976)をとるとDry Falloutによって供給されるCl⁻量は雨によって供給される量の76%くらいということになる。しかし表1の試料採集時期には台風に当らなかった。台風時を除くと雨のCl⁻濃度は約2.0ppmと計算される。(5~10月のデータに基づく)。するとDry Falloutによって供給されたCl⁻量は雨によって供給されたCl⁻量の4倍以上にもなるといえる。

次に河川水のCl⁻濃度が雨とDry Falloutによって供給されるCl⁻量で説明されるかをみてみよう。

Table 4 Calculated average values of Cl⁻ concentrations in a bucket, assuming the evaporated water quantities are zero

estimated water quantities in a bucket (1) (A)	Cl ⁻ in a bucket (mg) (B)	(B)/(A) (mg/l)	sampling terms
30.6	131	4.2	'76 Aug. 17–Aug. 31
70.2	904	12.8	'76 Nov. 4–Nov. 29
11.4	137	12.0	'76 Nov. 29–Dec. 26
32.4	255	7.9	'76 Dec. 26–'77 Jan. 23
total of (A) 145	total of (B) 1427	9.9	

雨が河川水になるまでにどの程度蒸発するのかがわかれば前に求めた 9.9ppm がどれだけ濃くなるか計算できるが今の所蒸発量がわかってない。ポリバケツには蒸発した残りの水がたまっておりこの量はわかっている（表1）。この値を使ってつまり採集時のポリバケツ中の Cl⁻ 濃度を求めると表5のようになり全体の平均値は17.9ppmになる。降水量の40%が蒸発したという計算になっているがそれでも河川水の Cl⁻ 濃度は説明されない。雨が河川水になるときの蒸発量はもっと多いのだろうか。それとも河川水への物質の供給方法としては他にもあるのだろうか。

Table 5 Average values of Cl⁻ concentrations in a bucket

remained water quantities in a bucket (1) (A)	Cl ⁻ in a bucket (mg) (B)	(B)/(A) (mg/l)	sampling locality	sampling terms
31.9	208	6.5	hig school	'76 Aug. 17–Aug. 31
29.9	1052	35	or	'76 Nov. 4–Nov. 29
12.9	223	17	junior high	'76 Nov. 29–Dec. 26
41.8	446	10.7	school	'76 Dec. 26–'77 Jan. 23
15.2	358	23.5	Ishimine-Cho	'76 Aug. 2–'77 Jan. 18
total of (A) 131.8	total of (B) 2287	17.3		

ここでは採集方法 (b) によってはどれくらい集められるかを実験し計算してみた。表2をもとにして1日、1cm²当り集められる Cl⁻ 量を求めて表6に示した（下のバケツにたまっていた量を引いてガーゼにたまった量だけである）。4回目と5回目は採集方法 (a) も同時に行っており採集方法 (a) の結果と (b) の結果を比較すると4回目の場合には (b) 方法で集まるのは (a) 方法での80%くらいであり5回目には両方とも同じくらいの Cl⁻ 量を集めていることがわかる。このような計算を方法 (a) で集めた表1の全試料について行ない平均値をとると $4.3 \times 10^{-2} \text{mg/cm}^2/\text{day}$ であり方法 (b) で集めた試料の全平均は $3.5 \times 10^{-2} \text{mg/cm}^2/\text{day}$ である。今の所測定例が少ないが方法 (a) によって集められる量の80%くらいの Cl⁻ が方法 (b) によっては集められることがわかる。

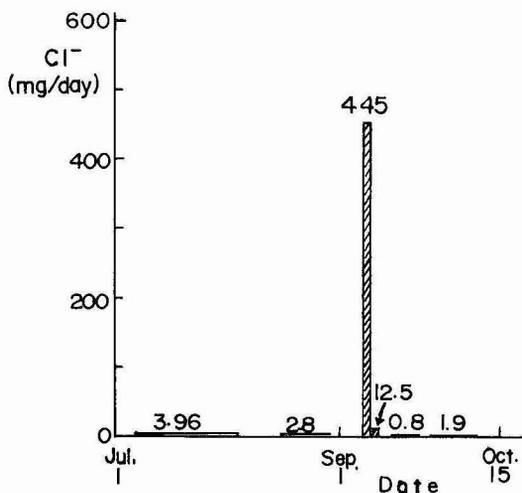
Table 6 Quantities of Cl^- collected by methods (a) and (b) at the University of the Ryukyus

quantities of Cl^- ($\text{mg}/\text{cm}^2/\text{day}$) ($\text{Cl}^- \times 10^8$)	sampling method	direction of sampling wall	times of sampling	sampling terms
6.2	(b)	east	fourth	'77 Jan. 12–Jan. 14
5.7		south		
4.2		west		
6.7		north		
average value 5.7				
7.2	(a)			
0.81	(b)	east	fifth	'77 Jan. 15–Jan. 25
1.2		south		
1.2		west		
1.6		north		
average value 1.2				
1.2	(a)			

雨とDry Falloutによって供給される Cl^- 量を考えるとき大切なのは平良 (1976) による雨についての報告でもわかるように台風時に運ばれてくる Cl^- 量である。これについて考えてみる。

2. 風速と Cl^- 降下量の関係

沖縄地方には毎年何個かの台風がくる。台風に伴って運ばれる物質が多いことは作物に対する塩害の例によってもよくわかる。台風によって運ばれる Cl^- 量を知るため本研究では試料採

Fig. 4 The Descended Cl^- Quantities at RYUDAI

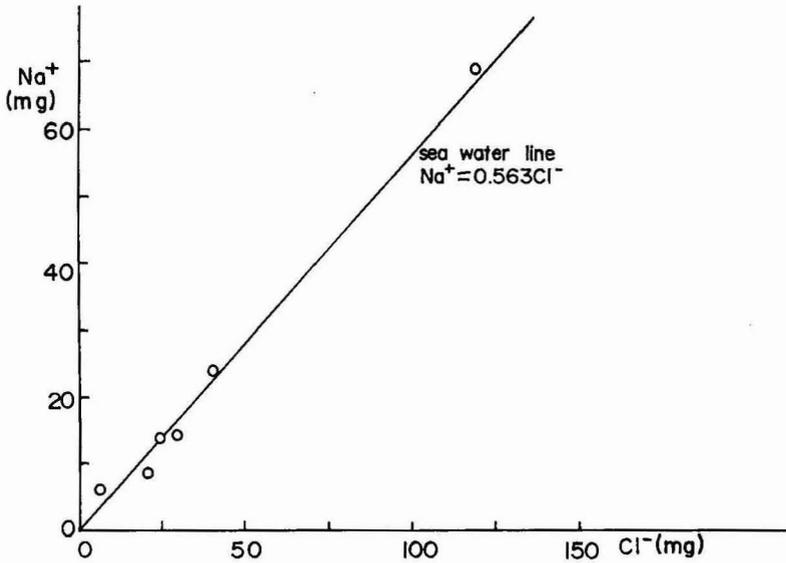


Fig. 5 Na^+ concentrations against Cl^- concentrations in rain and dry fallout collected at RYUDAI

集方法(a)によって琉大の機電ビル屋上で試料を集めた。結果は表1に示されている。

Sample No.27が台風17号(1976)、最大風速24mのときに集められた試料である。この試料と同じ場所で他の時期に集めた試料についても1日当り(バケツの面積は同じ)供給される Cl^- 量を計算して図4に示した。台風時には普通の時の150-200日分もの Cl^- 量が降下していることがわかる。ここで問題なのは試料採集場所が化学実験室の近くであり試料が汚染されていないかということである。Sample No.27を除く他の試料については $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ の関係は海水から供給されたと考えていい線によくのっており汚染度は少ないと思える(図5)。しかしSample No.27における Na^+ 含量がひくい。もしこの試料について海水中における Na^+ 相当の Cl^- 量を考えるならそれは340ppmくらいになりこれでも普通の天気の時供給される Cl^- 量の100-150倍になる。

図6と図7にも風速と Cl^- 降下量の関係を示した。両者は正比例関係にあることがわかる。

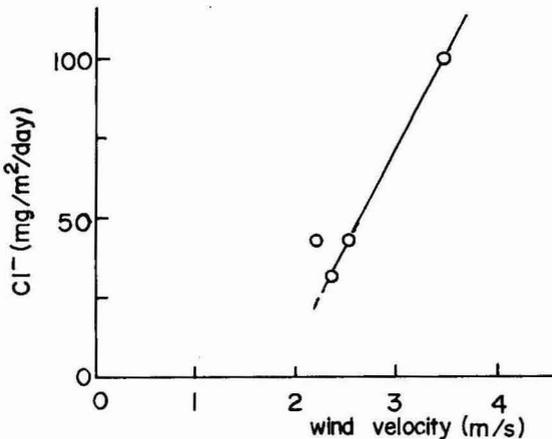


Fig. 6 The change of the descended Cl^- quantities with an average velocity of wind at NAGO

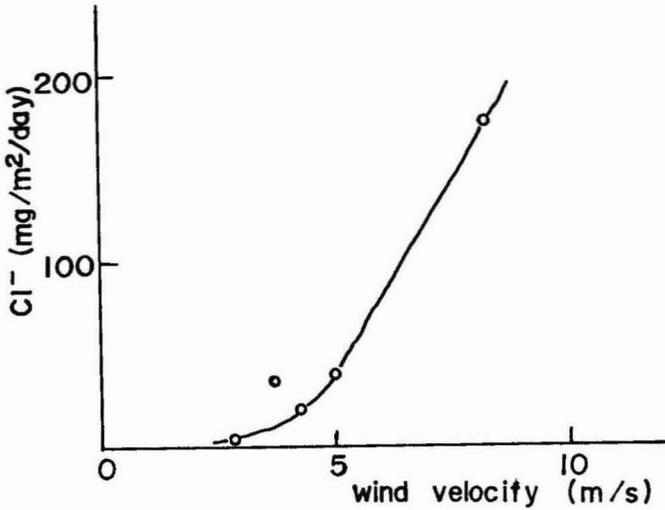


Fig. 7 The change of the descended Cl^- quantities with an average velocity of wind at RYUDAI

風速が 1 m 増すごとに増加する Cl^- 降下量は場所によって違う。これらのデータを使って河川水の Cl^- 濃度を説明するのに必要な風速を考えることもできよう。

さらにこのような風速と Cl^- 降下量の関係が同じ場所でも時期によって Cl^- 降下量に違いがあることと関係があると思われる。

3. 海からの距離による Cl^- 降下量の違い

雨とDry Fallout中の Cl^- は海洋起源であることは間違いないと思われる。それで海からの距離と Cl^- 降下量の関係を図 8 に示した。両者は反比例の関係にある。図 8 には $\text{Cl}^- \times \text{距離}$ の値が 0.018 と 0.009 の場合について計算した結果を点線で示してある。これを見ると距離に伴う Cl^- 降下量の減衰は $x y = a$ という 1 次式で表わされるような関係にはない。 $x y = a$ の関係に従うのであれば海側では Cl^- 量ももっと多く、陸側ではもっと少なくなければならない。

何故 $x y = a$ という関係にないかという問題はいくつかの理由を考えさせる。その 1 つは空中塩分の降下の垂直成分が $x y = a$ という関係で表わされる場合よりも弱く空気中にある塩分は漂っている（浮力が大きい）のではないかと思われることであり、さらに前に述べた風速の影響もあると思える。

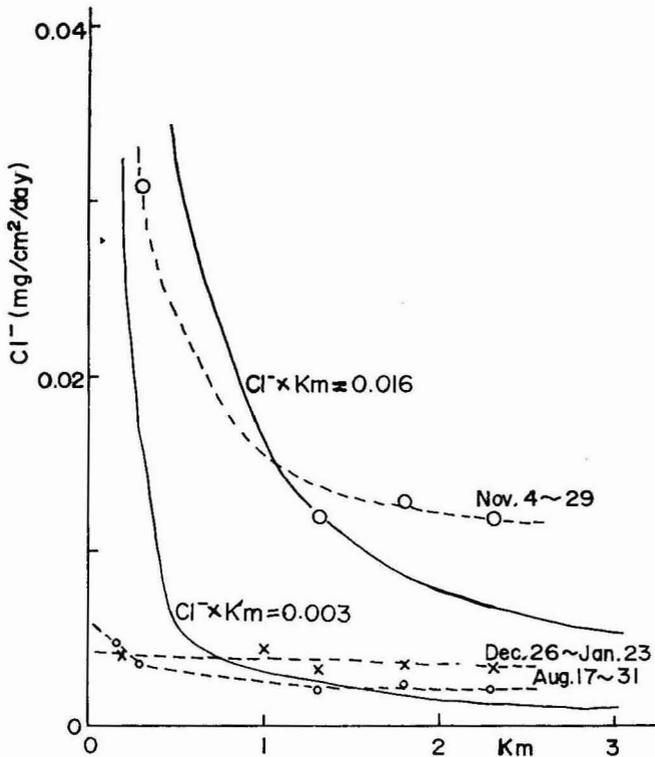


Fig. 8 The change of the Cl^- quantities with a distances from the sea

4. 降下してくる溶存物質と非溶存物質の量

表1にあげた高等学校と中学校での試料について溶存している全量を求めてみる。重量で Ca^{2+} の3倍に当る量を HCO_3^- 分として加え1日、 1 cm^2 当り何mgの溶存化学物質が降下してくるかを求めると $1.5 \times 10^{-2} \text{ mg/cm}^2/\text{day}$ と求まる。すると年当り沖縄全体では 6.8×10^4 屯となる。

採集方法(a)と(b)で集められる全溶存物質量を比べるため表2のSample No. 38~42について上と同じような計算をすると各々 $1.1 \times 10^{-2} \text{ mg/cm}^2/\text{day}$ 、 $1.2 \times 10^{-2} \text{ mg/cm}^2/\text{day}$ (Cl^- 量の10倍)と求まりほぼ同じである。

非溶存物質の降下量を表1の高等学校と中学校の試料を用いて計算すると平均して $1.0 \times 10^{-2} \text{ mg/cm}^2/\text{day}$ となり、年当り沖縄島全体では 4.5×10^4 屯となる。

溶存化学物質の全てについて当量濃度に計算しなおし溶存量の多さの順にならべると $\text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ であり、海水における $\text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$ という順序と比べると Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} の所で順序が違っていてこれらの化学種のいくつかは海水の組成そのままの割合でたまるとは暗示している。それで化学種の起源について考えてみた。

5. 雨とDry Falloutに含まれる化学種の起源

Cl^- を全て海から供給されたとして〔これに関する議論は渡久山(1972)に述べてある〕各化

学種のCl⁻に対する関係を試みる。その結果Na⁺は全て海水から(図9)、K⁺は殆んど試料では全てが海から、いくつかの試料では1部が海水以外から、SO₄²⁻は海水からきたと思えるのと同じくらいの量が他からも供給されている。Ca²⁺は海からきたと思える量は少ない(90%以下)、Mg²⁺は濃度が増すとむしろ海からきたと思える量に足りないということがわかる。Mg²⁺のこのような挙動の原因はわからないが雨だけの場合にも同じ傾向が見られる(平良、1976)。

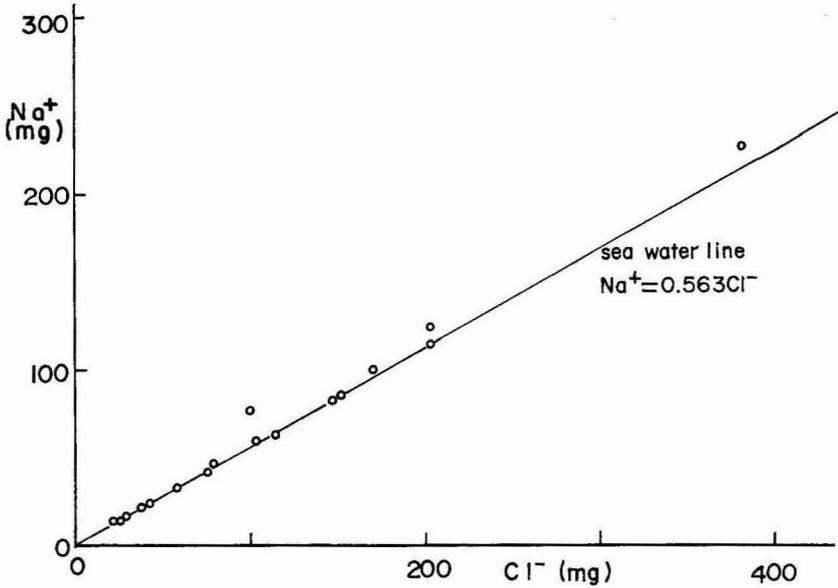


Fig. 9 Na⁺ concentrations against Cl⁻ concentrations in rain and dry fallout

6. 河川水や湧水に含まれる化学種の起源

ここでも河川水のCl⁻は全て海水に由来するとしてCl⁻に対するNa⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、SO₄²⁻をplotしてみた。するとNa⁺(図10)、Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、SO₄²⁻全てが海水からきたと思える量よりも過剰に存在している。Na⁺でさえ海水以外にも供給源があるようで興味ある問題だし雨とDry Falloutでは海からきたと思える量にも足りなかったMg²⁺が河川水では過剰量溶存しているのも興味ある問題である。

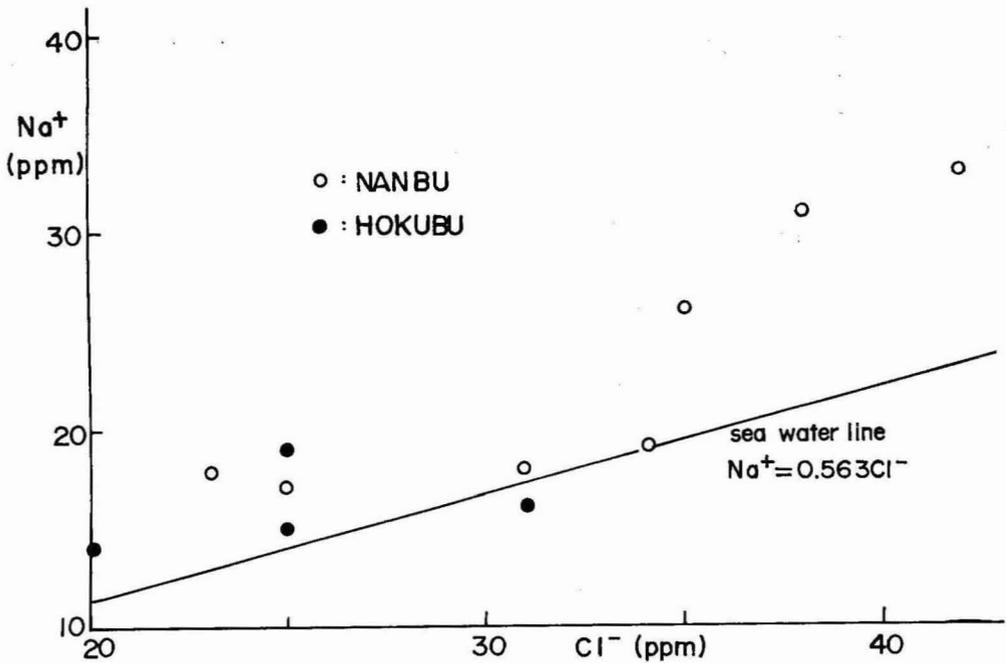


Fig. 10 Na^+ concentrations against Cl^- concentrations in river and spring waters

ま と め

沖縄本島の汚染されていないと思える河川水や湧水の Cl^- 濃度は20-50ppmである。これに対する雨とDry Falloutの寄与は試料採集方法 (a) によっては15ppmくらいである。試料採集方法 (b) によっては試料を集める面積が同じなら採集方法 (a) の80%くらいの量が供給される。

風速と Cl^- 降水量とは正比例の関係にあり台風時に運ばれる Cl^- 量は普通の天気の時比べて百倍以上になるときもある。沖縄における物質の動きを調べる時には台風時をのがしてはならないことを示している。

海からの距離と Cl^- 降水量は反比例の関係にあるが $xy = a$ という単純なものではない。

溶存物質については年当り沖縄本島全体に降下した量と草木などによって集められる量とを加えると十万吨を越すと思える。このようにして集められる非溶存物質も十万吨程度になるのではないかと。ただし非溶存物質はかなりの部分が陸地に起源をもつと思える。

雨とDry Falloutにおいては Na^+ 、 K^+ はほとんど全てが海洋起源、 Mg^{2+} は海から供給されたと思える量以下しか含まれてなく、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} は海以外にも供給源をもつと思えるが河川水や湧水においては Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} ともに海水からきたと思える量以上に含まれていて雨とDry Fallout から河川水や湧水になるとき岩石等との化学反応があることを暗示している。

非溶存物質と Cl^- 濃度との関係は Cl^- 濃度が低い所では秩序だった関係はみられなく Cl^- 濃度が高い所では比例するように見える。しかしこのことから直ちに海洋起源の成分と非溶存物質が降下するまでの間どのような状態で存在しているのかは、わからない。

参 考 文 献

- 兼 島 清： 沖縄の河川および地下水の水質、工業用水、No.81、30-37 (1965)。
北 野 康： 水の科学、日本放送出版協会 (1969)。
平 良 博： 雨水の化学組成とその起源について、琉球大学化学科卒業論文 (1976)。
渡久山 章： 堆積環境における元素の移動 (3 報) 石灰岩地方の水 (1)、琉球大学理工学部紀要 (理学篇)、No.15、81-98 (1972)。
角 皆 静 男： 雨水の分析、講談社 (1972)。