

香川県における霧水調査 (第2報)

Investigation of Fog Water in Kagawa Prefecture(II)

勝間 孝 石川 英樹 合田 順一
Takashi KATSUMA Hideki ISHIKAWA Junichi GOUDA

For evaluating different conditions of fog and rain, the fog and the rain samples collected at Goshikidai were investigated.

From April in 1995 through March in 1996, the volume-wight mean pH value was 3.59 and its Electric Conductivity(EC) was $430 \mu\text{S}/\text{cm}$ for the fog samples. For the rain samples collected in same period of time, as contrast, the volume-wight mean pH value was 4.52 and its EC value was $25.2 \mu\text{S}/\text{cm}$.

As same as above, the volume-wight mean pH value from April in 1996 through March in 1997, the volume-wight mean pH value was 3.76 and its EC value was $240 \mu\text{S}/\text{cm}$. The rain samples collected during same period had the volume-wight mean pH value of 4.58 and average EC value of $20.0 \mu\text{S}/\text{cm}$.

The ion concentration of fog samples was about 8 times to 166 times higher than that of rain samples. And the composition of ions were different from one another.

はじめに

霧とは微細な水滴(水晶)が大気中に浮遊している現象をいう。基本的には雲と同じ現象であり、雲が地面に接したものが霧である。国際的に統一して水平視程1km未満の場合をいう¹⁾。

霧粒とは直径 $10 \mu\text{m}$ 程度で、雨粒は直径 $100 \mu\text{m}$ 程度であり、霧粒は雨粒に比べ粒径が小さく単位堆積あたりの表面積が大きく地上付近で発生する。そのため汚染物質を取り込み易く、滞留時間が長く、長時間植物と接触する特徴がある²⁾。

霧は発生機構により三つに大別でき、移流霧(冷面上を暖気があるいは温面上を冷気が移流するときに発生する霧)、放射霧(地表面で生じる放射冷却によって、地表に接する空気が冷却して発生する霧)と滑昇霧(山腹を吹き上がる空気の断熱膨張による冷却で発生する霧)がある。また海霧・川霧・盆地霧などは発生地別の分類で上記の一つあるいは二つ以上の機構によってできる³⁾。

雨の場合には汚染された初期降雨が多量の清浄な後続雨水により洗いがされるが、霧の場合には水分量が少ないため葉などへ付着した場合、作用時間が長い。このような理由から植物等生態系に対する影響が大きいと言われている。香川県では平成3年度から平成6年度にかけて数カ所で霧発生調査を行い、その結果移流霧である瀬戸内海の霧を採取可能で、海からの気塊によりできる滑昇霧を発生しやすい地点として五色台を選定した。

その五色台において平成7年度と平成8年度の2年間の調査結果をまとめところ若干の知見を得たので報告する。

調査方法

1. 調査地点

調査地点を図1に詳細を示す。

五色台: 五色台少年自然の家事務所棟屋上(高松市生島423, 海岸線より2.1km, 標高350m)



図1 酸性雨調査地点

2. 調査期間

調査期間は平成7年4月から平成9年3月である。

3. 試料採取方法

3-1 霧水

霧水採取器は図2に示すとおり、プラスチック製枠に0.5mmφのテフロン細線を多数縦に張って（面積900cm²）、後方からファンで空気を吸引するものであり、吸引された空気中の霧粒子はテフロン細線に衝突して水滴となり細線に沿って落下し、捕集びんに採取される。なお機種は臼井工業製の細線式自動霧水捕集装置を用いて一週間単位で採取した。

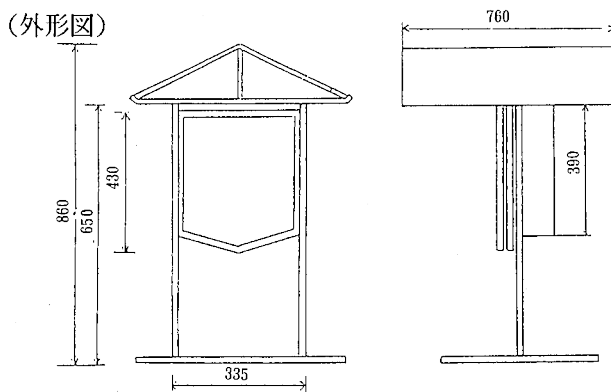


図2 細線式霧水捕集器

3-2 雨水

雨水は環境庁方式のろ過式雨水採取機を使用して1週間単位で採取した。採取器は図3に示す。

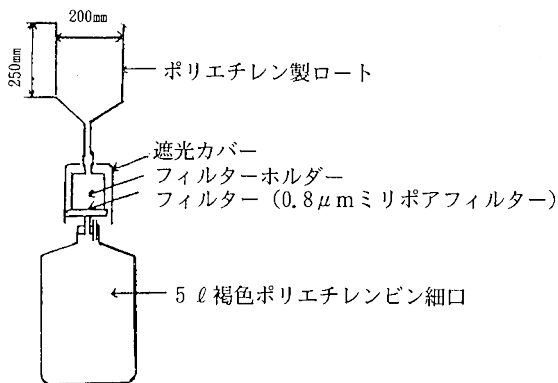


図3 ろ過式採取装置

4. 測定項目及び測定方法

採取した試料はpH、ECを測定後、0.22μmのミリポアルターでろ過し、陰イオン及び陽イオンの測定に供するま冷蔵庫内（庫内温度約4℃）で保存した。

pH：ガラス電極法（岩崎硝子（株）製 M-135）

EC：導電率計（電気化学計器（株）製 A0-6）

陰イオン（SO₄²⁻、NO₃⁻、Cl⁻）

陽イオンイオン（NH₄⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、Na⁺）

：イオンクロマトグラフィー法（Dionex社製DX-AQ）

イオンクロマトグラフの測定条件

・分離カラム

陰イオン：IonPac AS4A-SC 250mmx4mmID

陽イオン：IonPac CS12 250mmx4mmID

・ガードカラム

陰イオン：IonPac AG4A-SC, 50mmx4mmID

陽イオン：IonPac CG12, 50mmx4mmID

・溶離液

陰イオン：1.8mmol Na₂CO₃+1.7mmolNaHCO₃. 1.5ml/min

陽イオン：20mmol メタン磺ルホン酸1.0ml/min

・サプレッサー：（リサイクルモード）

陰イオン：ASRS-I, 4mm

陽イオン：CSRS-I, 4mm

・試料注入法：オートインジェクター（安部商事（株）

ATS-50）

・試料注入量：15μℓ

・検出器：電気伝導度計

調査結果及び考察

1. 霧および雨の採取状況について

平成7年度および平成8年度の霧水のイオン成分等について表1および表2に示した。また、雨水についても表3、表4に示した。これらをもとに霧水および雨水の採取状況を図4にまとめると霧水では採取装置の故障などもあったが、3月～9月に採取可能な霧が発生したものであると思われる。雨水の採取については平成7年8月と12月に極端に少ない月があったものの、それ以外の月については650mlを越える量の採取であった。

表1 平成7年度霧水調査結果

月	採取量 (ml)	pH	H ⁺ eq μeq/ml	EC μS/cm	SO ₄ ²⁻ μeq/ml	NO ₃ ⁻ μeq/ml	Cl ⁻ μeq/ml	NH ₄ ⁺ μeq/ml	Ca ²⁺ μeq/ml	Mg ²⁺ μeq/ml	K ⁺ μeq/ml	Na ⁺ μeq/ml
4	1,125	3.39	0.4033	386	0.69	0.95	0.23	1.32	0.06	0.03	0.02	0.22
5	1,064	3.83	0.1493	211	0.47	0.58	0.14	1.12	0.08	0.03	0.05	0.16
6	691	3.74	0.1806	281	0.68	0.79	0.19	1.64	0.07	0.04	0.06	0.17
7	欠測											
8	"											
9	453	3.75	0.1791	454	1.20	1.77	0.42	2.26	0.21	0.14	0.12	0.77
10	0											
11	0											
12	0											
1	58	4.20	0.0625	3,480	4.15	6.07	18.17	7.29	1.83	2.24	0.58	17.85
2	50	3.51	0.3058	2,966	7.12	8.16	10.32	6.61	3.12	1.72	0.57	12.10
3	1,023	3.53	0.2972	501	1.06	1.35	0.81	2.07	0.22	0.11	0.08	0.68
最大値	1,125	4.20	0.4033	3,480	7.12	8.16	18.17	7.29	3.12	2.24	0.58	17.85
最小値	50	3.39	0.0625	211	0.47	0.58	0.14	1.12	0.06	0.03	0.02	0.16
平均値		3.59	0.2557	430	0.89	1.16	0.70	1.72	0.18	0.11	0.07	0.72
合計	4,464											

表2 平成8年度霧水調査結果

月	採取量 (ml)	pH	H ⁺ eq μeq/ml	EC μS/cm	SO ₄ ²⁻ μeq/ml	NO ₃ ⁻ μeq/ml	Cl ⁻ μeq/ml	NH ₄ ⁺ μeq/ml	Ca ²⁺ μeq/ml	Mg ²⁺ μeq/ml	K ⁺ μeq/ml	Na ⁺ μeq/ml
4	501	3.63	0.2321	309	0.73	0.76	0.34	1.31	0.15	0.07	0.05	0.37
5	209	2.92	1.1924	1082	2.42	3.29	0.84	4.69	0.25	0.13	0.22	0.87
6	695	4.24	0.0578	202	0.63	0.50	0.27	1.34	0.06	0.04	0.06	0.26
7	1,499	4.13	0.0740	128	0.32	0.38	0.13	0.64	0.03	0.02	0.03	0.11
8	57	4.64	0.0227	171	0.59	0.32	0.47	0.15	0.28	0.08	0.05	0.48
9	531	3.73	0.1874	222	0.51	0.78	0.21	1.22	0.05	0.04	0.06	0.23
10	欠測											
11	"											
12	87	4.15	0.0714	217	0.61	0.64	0.35	1.39	0.11	0.05	0.05	0.31
1	欠測											
2	欠測											
3	"											
最大値	1,499	4.64	1.1924	1082	2.42	3.29	0.84	4.69	0.28	0.13	0.22	0.87
最小値	57	2.92	0.0027	128	0.32	0.32	0.13	0.15	0.03	0.02	0.03	0.11
平均値		3.76	0.1742	240	0.60	0.69	0.25	1.20	0.07	0.04	0.06	0.25
合計	3,579											

表3 平成7年度雨水調査結果(1週間ろ過式)

月	貯水量 (ml)	pH	H ⁺ eq μeq/ml	EC μS/cm	SO ₄ ²⁻ μeq/ml	NO ₃ ⁻ μeq/ml	Cl ⁻ μeq/ml	NH ₄ ⁺ μeq/ml	Ca ²⁺ μeq/ml	Mg ²⁺ μeq/ml	K ⁺ μeq/ml	Na ⁺ μeq/ml
4	4,137	4.50	0.0316	28.6	0.0695	0.0379	0.0192	0.0628	0.0130	0.0044	0.0042	0.0180
5	6,699	4.78	0.0166	14.6	0.0331	0.0160	0.0068	0.0361	0.0062	0.0018	0.0030	0.0058
6	3,704	4.67	0.0215	17.8	0.0400	0.0249	0.0109	0.0440	0.0072	0.0022	0.0022	0.0100
7	1,030	4.82	0.0152	11.9	0.0492	0.0099	0.0052	0.0619	0.0035	0.0013	0.0024	0.0058
8	86	4.31	0.0486	62.3	0.1901	0.1485	0.0526	0.1480	0.0345	0.0136	0.0122	0.0667
9	3,292	4.29	0.0514	32.9	0.0777	0.0349	0.0238	0.0593	0.0064	0.0038	0.0027	0.0263
10	1,440	4.22	0.0596	36.0	0.0790	0.0363	0.0223	0.0639	0.0056	0.0034	0.0025	0.0222
11	1,040	4.36	0.0433	38.8	0.0758	0.0386	0.0651	0.0593	0.0109	0.0081	0.0036	0.0633
12	105	4.00	0.1008	124.3	0.2831	0.2664	0.1997	0.2367	0.0667	0.0283	0.0122	0.1812
1	1,264	4.42	0.0383	40.1	0.0859	0.0483	0.0785	0.0804	0.0143	0.0098	0.0043	0.0769
2	853	4.89	0.0130	25.0	0.0740	0.0431	0.0326	0.0649	0.0279	0.0071	0.0043	0.0380
3	1,879	4.52	0.0302	30.4	0.0810	0.0437	0.0318	0.0701	0.0214	0.0058	0.0038	0.0325
最大値	6,699	4.89	0.1008	124.3	0.2831	0.2664	0.1997	0.2367	0.0667	0.0283	0.0122	0.1812
最小値	86	4.00	0.0130	11.9	0.0331	0.0099	0.0052	0.0361	0.0035	0.0013	0.0022	0.0058
平均値		4.52	0.0301	25.2	0.0598	0.0311	0.0220	0.0550	0.0101	0.0039	0.0033	0.0218
合 計	25,529											

表4 平成8年度雨水調査結果(1週間ろ過式)

月	貯水量 (ml)	pH	H ⁺ eq μeq/ml	EC μS/cm	SO ₄ ²⁻ μeq/ml	NO ₃ ⁻ μeq/ml	Cl ⁻ μeq/ml	NH ₄ ⁺ μeq/ml	Ca ²⁺ μeq/ml	Mg ²⁺ μeq/ml	K ⁺ μeq/ml	Na ⁺ μeq/ml
4	1,953	4.61	0.0247	23.1	0.0555	0.0373	0.0157	0.0589	0.0160	0.0036	0.0025	0.0159
5	2,289	4.69	0.0205	16.3	0.0376	0.0279	0.0103	0.0508	0.0085	0.0023	0.0030	0.0110
6	9,897	4.78	0.0165	10.9	0.0273	0.0094	0.0049	0.0240	0.0034	0.0007	0.0010	0.0051
7	4,957	4.42	0.0378	23.5	0.0542	0.0277	0.0136	0.0634	0.0036	0.0016	0.0021	0.0148
8	2,153	4.79	0.0164	14.2	0.0325	0.0166	0.0213	0.0366	0.0054	0.0028	0.0023	0.0229
9	4,257	4.48	0.0334	16.7	0.0360	0.0264	0.0160	0.0559	0.0045	0.0020	0.0012	0.0184
10	3,603	4.35	0.0446	29.1	0.0456	0.0303	0.0151	0.0420	0.0050	0.0017	0.0015	0.0142
11	1,630	4.40	0.0402	28.0	0.0590	0.0438	0.0196	0.0709	0.0057	0.0028	0.0023	0.0201
12	2,118	4.91	0.0122	24.9	0.0808	0.0340	0.0651	0.0621	0.0324	0.0074	0.0049	0.0412
1	960	4.65	0.0223	33.5	0.0768	0.0570	0.0746	0.0808	0.0235	0.0108	0.0047	0.0827
2	658	5.35	0.0045	33.6	0.1220	0.0677	0.0630	0.0916	0.0523	0.0099	0.0048	0.0571
3	3,085	4.57	0.0268	27.1	0.0709	0.0475	0.0164	0.0604	0.0261	0.0032	0.0026	0.0164
最大値	9,897	5.35	0.0446	33.6	0.1220	0.0677	0.0746	0.0916	0.0523	0.0108	0.0049	0.0827
最小値	658	4.35	0.0045	10.9	0.0273	0.0094	0.0049	0.0240	0.0034	0.0007	0.0010	0.0051
平均値		4.58	0.0261	20.0	0.0469	0.0270	0.0179	0.0485	0.0098	0.0025	0.0021	0.0172
合 計	37,560											

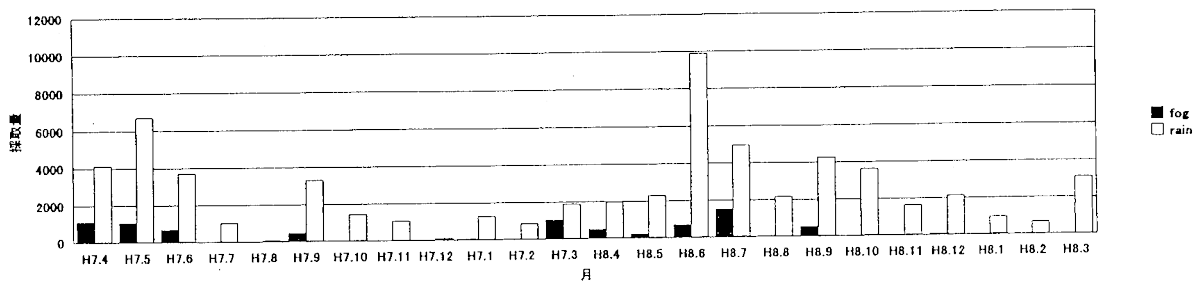


図4 霧水と雨水の採取数

2. pHについて

霧水のpHの出現範囲は平成7年度は3.39~4.20平均3.59であり、平成8年度は2.92~4.64平均3.76であった。これらは村野⁴⁾がまとめた全国の霧水のpHの状況と同じ傾向でありその結果を表5に示す。一方、雨水につい

ては平成7年度のpH出現範囲が4.00~4.89平均4.52、平成8年度は4.35~5.35平均4.58であり、県内の過去のデータをまとめ報告した片山らの報告⁶⁾と同様な値であった。

表5 全国の霧水のpH等イオン組成

場所 (標高)	種類	調査期間	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cl^- ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	NO_3^- ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	SO_4^{2-} ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	NH_4^+ ($\mu\text{g}/\text{ml}$)
五色台 (310m)	滑昇霧	H7.4~H8.3	2.92~4.64	171~	17.72	58.81	35.98	25.37
	移流霧			3480				
苫小牧 (平地)	海霧	S54/7~8	3.8 ~4.6					
赤城山 (1400m)	滑昇霧	S59/10	2.90~4.91	17~1070	0.25~ 3.75	1.72~202	1.8~83	0.926~42.2
筑波山 (870m)	滑昇霧	S52/7	2.8, 5.6		6.4, 10	0.3, 68	17, 85.5	2.0, 20
乗鞍岳 (2770m)	滑昇霧	S38/7	3.4 ~5.9	77~300	5.7	11	58	4.7
		H1/8	3.6 ~3.9	3~180				
丹沢大山 (700m)	滑昇霧	S63/7	2.93~5.40			~50	~54	
三次盆地 (盆地)	放射霧	S62/11	3.05~4.8	52~245	47	28	39	25
三郡山 (670m)	滑昇霧	H1/6	3.5 ~3.9	79~220		32.7~ 268.4		96.1~561.1
		H1/6	3.95~4.0	66~ 84		20.3~70.1		95 ~140.9

3. ECについて

霧水のECは平成7年度211~3480 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、平均430 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、平成8年度128~1082 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、平均240 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であり村野の報告と比べると高い値となっている。これについては村野らは有人採取であり、本県では一週間毎の無人採取方法をとっており、捕集用ネットに付着した乾性降下物が霧水として捕集され流れ込んだため、このような結果になったと思われる。

雨水については平成7年度で 11.9~124 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、平均

25.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、平成8年度では10.9~33.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、平均20.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であり、片山らの報告と同様であった。

4. イオン組成について

平成7年度および平成8年度の年平均イオン組成を図5、6に示した。9種のイオン総計において霧水は雨水に比べ平成7年度で25倍、平成8年度においても17倍と高い濃度となっている。

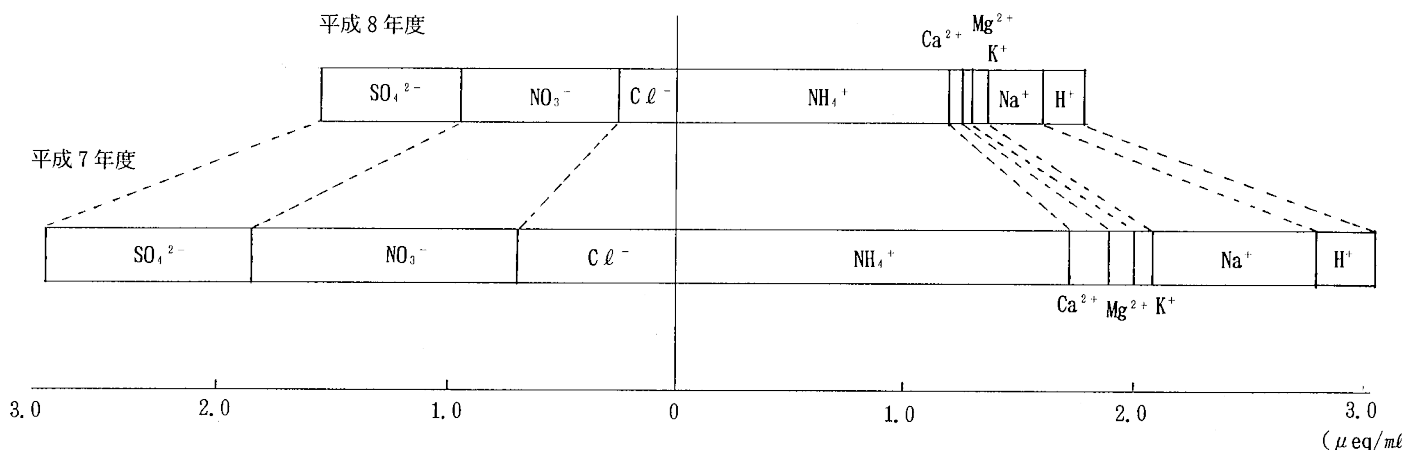


図5 平成7年度・平成8年度霧組成図

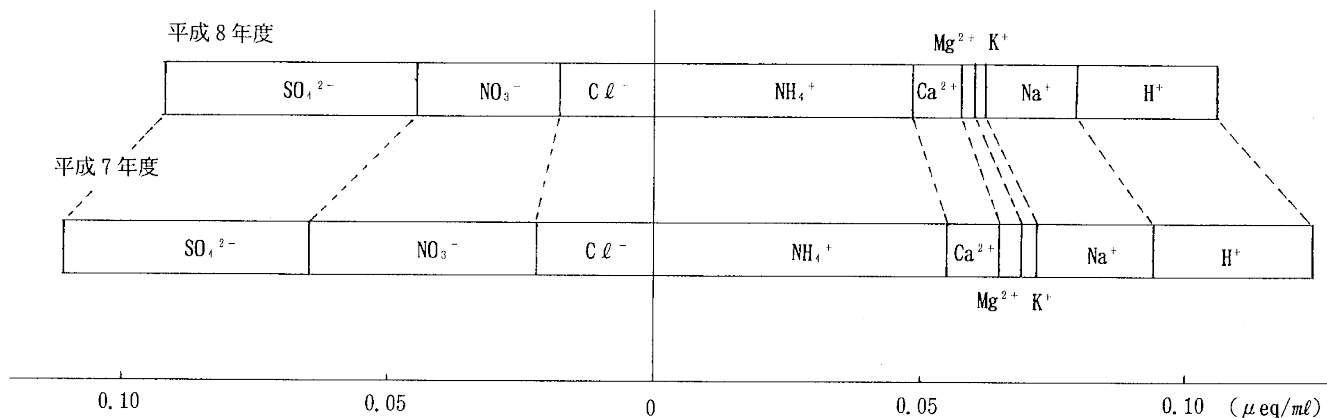


図6 平成7年度・平成8年度雨組成図

これは霧が雨に比べ微少水滴であり、表面積が大きく滞留時間も長いため、エアロゾルやガス状物質を取り込んだこと、さらには、採取用のネットに付着した乾性降下物が霧水として捕集されるときに流れ込んだためと思われる。後者の対策については、1週間毎にネットを交換等しているが現在の霧水捕集法では1週間が限界である。また図7に示すように霧水において陰イオン成分は

NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- の順に多く、陽イオンでは NH_4^+ 、 Na^+ 、 H^+ の順に多かった。一方、雨水では陰イオンが SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- の順に多く、陽イオンでは NH_4^+ 、 H^+ 、 Na^+ の順に多かった。霧水において SO_4^{2-} より NO_3^- がおおいことについては霧水と雨水を調べるうえで今後の検討課題と思われる。

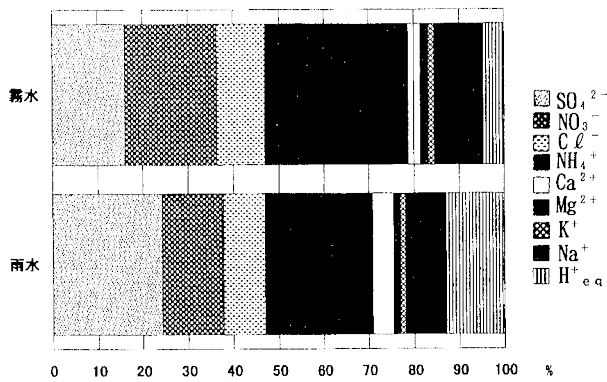


図7 霧水と雨水の組成図

5. 海塩粒子の影響

図8と図9に過去2年間の霧水と雨水の海塩由来成分および非海塩由来成分を示した。破線より左側が非海塩由来成分，右側が海塩由来成分を示しており，海塩由来成分はNaから算出した。これによると霧水では約3割が海塩由来成分といわれるNa⁺，Mg²⁺，K⁺，及びCl⁻であり，雨水については約2割が海塩由来成分であった。雨水については県内の高松市における過去8年間をまとめた報告と異なった結果であった。この原因については今後の検討課題である。

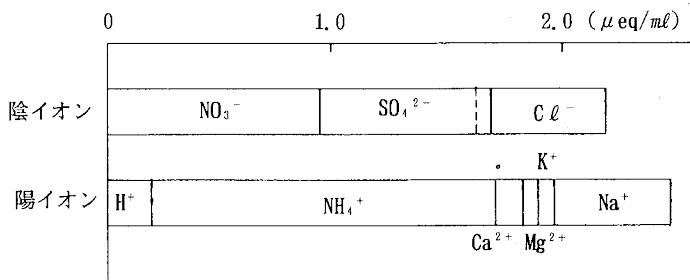


図8 霧水平均イオン組成図

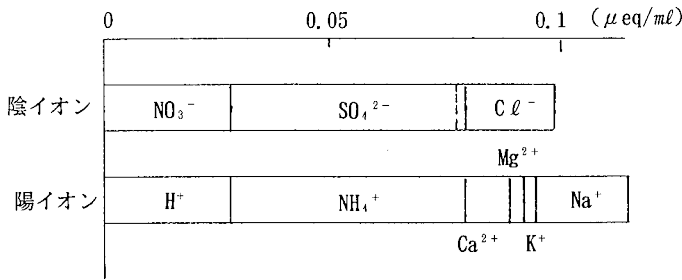


図9 雨水平均イオン組成図

ま と め

- 霧は平成8年12月以外は3月から9月にかけて発生している。
- 霧水の平成7年度の平均pH値は3.59，平成8年度は3.76であった。
- 霧水の平成7年度の平均ECは430 μS/cm，平成8年度においては240 μS/cmであった。
- 霧水のイオン濃度は平成7年度で雨水の25倍，平成8年度で雨水の17倍のであり，イオン組成においては霧でNO₃⁻の割合がSO₄²⁻の割合より大きく，雨水ではその逆であった。この点は霧水と雨水の挙動を探るうえで今後の検討課題である。
- 霧水では海塩性成分が3割をしめ雨水では2割であった。このことについては今後の検討課題である。

文 献

- 新田 尚：天気予報士のための天気予報用語集，72，東京出版，1996
- 正賀 充他：兵庫県立公害研究所報告，26，29(1994)
- 財団法人国際科学振興財団編集：科学大事典，328，丸善書店(1985)
- 村野 健太郎：公害と対策，25，725(1989)
- 村野 健太郎：公害と対策，27，229(1991)
- 片山 正敏：香川県環境研究センター所報，19，41，(1994)