

大気中有害金属類等の実測結果（中間報告）

1. 調査の目的

バックグラウンド地域における大気中有害金属類等の環境監視システムを構築するための試行調査として、辺戸岬（沖縄県）において、形態別水銀の連続測定を行うとともに、粒子状物質及び降水に含まれる有害金属類等の測定を行った。

今後、試行調査の結果を踏まえ、バックグラウンド地域の環境監視に適用可能な測定手法について検討を行う予定である。

2. 調査地点

調査地点は、中国大陸等からの気塊が到達する頻度が高く、わが国のバックグラウンド濃度を的確に把握できる地点として、以下の地点を選定した。

表 2-1 大気中有害金属実測調査の調査地点

地点名称	辺戸岬大気・エアロゾル観測ステーション
管理者	独立行政法人 国立環境研究所
所在地	沖縄県国頭郡国頭村字宜名真長根原 1000
緯度経度	北緯 26.87° 東経 128.26°
バックグラウンド地点としての特徴	沖縄本島の北端に位置し、中国大陸や朝鮮半島からの気塊が到来する頻度が高く、また東南アジアなど南方からの気塊や、バックグラウンドである太平洋の気塊をとらえることも可能である。東アジアにおける有害金属類等の分布と輸送の把握に適した地点である。

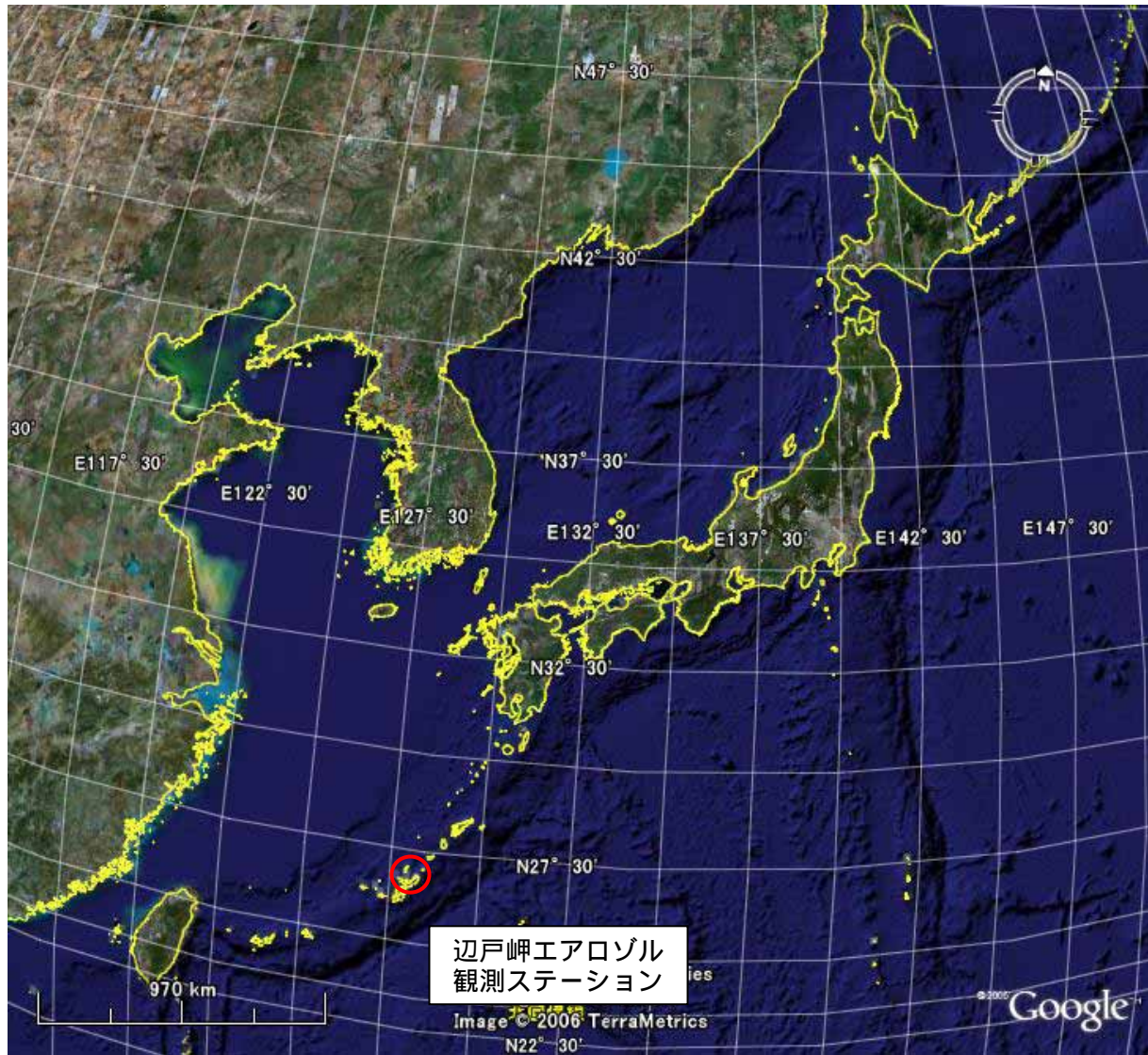


図 2-1 調査地点の位置

3. 調査期間

調査期間は、平成 19 年 4 月 1 日～平成 20 年 3 月 31 日の 1 年間とする。

なお、調査期間は以下の理由から通年とした。

- ・ 長距離輸送による影響を把握するには、短期間の調査よりも年間を通じた長期監視を行うことが望ましいこと。
- ・ 過去 3 年間のトラジェクトリー解析の結果から、大気塊の輸送経路は季節によって大きく変動しており、また、年による差異も見られること。
- ・ 将来、予測モデルとの検証データとして用いる場合、データ数が多く長期に観測されていることが望ましいこと。
- ・ 諸外国では年間の観測が実施されており、四季調査とした場合はこれらのデータとの相互比較が行いにくくなること。

4. 調査内容

調査内容は表 4-1 に、調査項目の詳細は表 4-2 に示すとおりである。

なお、水銀については、化学的な形態によって環境中の挙動等が異なっているため、形態別の濃度を把握することが重要であり、国外では、化学形態別濃度の測定を実施している機関がある。このことを踏まえ、本調査では、水銀については、自動形態別水銀連続測定装置を用いて、ガス状水銀（0 価、2 価）と粒子状水銀別の測定を行うこととした。

表 4-1 調査項目及び調査方法等

区分	調査項目		調査方法	頻度・期間
大気成分	形態水銀	ガス状水銀：0 価、2 価 粒子状水銀	Tekran 社製形態別水銀連続測定装置により測定	連続測定 ×1 年間
	粒子状物質	鉛、カドミウム、銅、亜鉛、砒素、クロム、バナジウム、ニッケル等	ローボリウムエアサンプラーにより 7 日間連続採取し ICP/MS により室内分析	1 回 / 週 ×1 年間
降水成分	粒子状物質と同じ		降水捕集装置により採取し室内分析	1 回 / 月 ×1 年間
気象データ	風向、風速、気温、湿度等		既存の大気監視局、気象観測局等のデータの入手・解析による	1 年間

表 4-2 有害金属類等の測定項目

区分	番号	測定項目		備 考		
				RoHS	大防法	有害大気
形態別水銀	1	ガス状 0 価	Hg(0)			
	2	ガス状 2 価	Hg(2)			
	3	粒子状水銀	Hg(P)			
粒子状物質 ・ 降水	4	鉛	Pb			
	5	カドミウム	Cd			
	6	銅	Cu			
	7	亜鉛	Zn			
	8	砒素	As			
	9	クロム	Cr			
	10	バナジウム	V			
	11	ニッケル	Ni			
	12	セレン	Se			
	13	アンチモン	Sb			
	14	バリウム	Ba			
	15	コバルト	Co			
	16	マンガン	Mn			
	17	スズ	Sn			
	18	テルル	Te			
	19	タリウム	Tl			
	20	ベリリウム	Be			
	21	水銀(降水のみ)	Hg			
	22	アルミニウム	Al			
	23	鉄	Fe			
	24	カルシウム	Ca			
	25	ナトリウム	Na			
	26	カリウム	K			

注)

RoHS：欧州連合(EU)の特定有害物質使用制限(RoHS)指令の規制対象物質

大防法：大気汚染防止法に基づく有害物質

有害大気：大気汚染防止法に基づく有害大気汚染物質

4.1 形態別水銀

Tekran 社製自動形態別水銀連続測定装置を用いて形態別水銀の連続測定を行った。形態別水銀連続測定装置の概要を表 4-3 に示す。なお、平成 19 年 6 月に測定装置の交換を行った。

また、連続測定と並行して、「有害大気汚染物質測定方法マニュアル」(平成 11 年 3 月 環境庁)の方法によるガス状水銀(0 価)の測定を週 1 回実施し、連続測定結果との比較を行うとともに、形態別水銀連続測定装置の精度等についての検討を行った。

表 4-3 形態別水銀連続測定装置の概要

形態別水銀連続測定装置 (Tekran 社製)	
検出部 : Model 2 5 3 7 A 捕集部 : Model 1 1 3 0	
測定範囲(ng/m ³)	0.1 ~ 10,000
検出下限(ng/m ³)	0.1 (7.5L サンプル)
流量 (L/min)	0.5 ~ 1.5
試料採取間隔	2.5 ~ 60min (ガス状 : 5min、粒子状 : 60min)
測定頻度	1 時間値を 2 時間毎 (1 日 12 回測定)

4.2 粒子状物質

サンプリングは、全粒子 (TSP) を対象とし、ローボリュームエアサンプラーを用いて7日間連続採取 (1回/週) した。採取試料の分析は、「有害大気汚染物質測定方法マニュアル 大気中の重金属類の多元素同時測定方法」(環境省、平成 18 年 2 月) に準じて ICP-MS 等により行った。

なお、粒子状物質の由来を把握するため、土壌、黄砂、海塩粒子の代表的な指標成分としてアルミニウム、鉄、カルシウム、ナトリウム、カリウムの分析を行った。

4.3 降水試料

サンプリングは、感雨計により自動的に降水試料のみを採取できる降水サンプラーを用いて採取 (1回/月) した。採取試料の分析は、「有害大気汚染物質測定方法マニュアル 大気中の重金属類の多元素同時測定方法」(環境省、平成 18 年 2 月) に準じて ICP-MS 等により行った。

なお、本中間報告では、平成 19 年 8 月までの形態別水銀及び粒子状物質中の有害金属類等の測定結果について報告する。

5. 調査結果

5.1 形態別水銀

1) 連続測定結果

形態別水銀濃度の測定結果を図 5-1 に、月別平均値を表 5-1 に示す。

なお、平成 19 年 2 月から 5 月については、後述するように、測定値が実際の水銀濃度よりも高めの値となっていた可能性が高いため、ここでは参考値として示した。

平成 19 年 6 月以降の測定結果によると、全水銀濃度の月平均値は 1.1 ~ 1.7 ng/m³ であった。また、形態別水銀濃度の月平均値は 0 価水銀が 1.0 ~ 1.7 ng/m³、2 価水銀は 7.2 ~ 11.5 pg/m³、粒子状水銀は 7.1 ~ 10.1 pg/m³ であり、0 価のガス状水銀が全水銀のほとんどを占めていた。

表 5-1 形態別水銀濃度の月別平均値

期間	ガス状水銀 (0 価)	2 価水銀	粒子状水銀	全水銀	備考
	(ng/m ³)	(pg/m ³)	(pg/m ³)	(ng/m ³)	
2/4 - 2/28	3.4	14.9	13.9	3.5	参考値
3/1-3/31	2.8	8.6	5.8	2.8	参考値
4/1-4/30	2.6	9.5	8.5	2.6	参考値
5/1-5/28	3.0	11.6	11.2	3.0	参考値
6/1-6/30	1.7	11.5	9.6	1.7	装置交換
7/1-7/31	1.3	7.2	7.1	1.3	
8/1-8/31	1.0	7.8	10.1	1.1	

注) 値は日平均値の月平均値を示す。ただし、いずれかの項目で欠測が 1 日 2 回を超えた日平均値は欠側扱いとした。

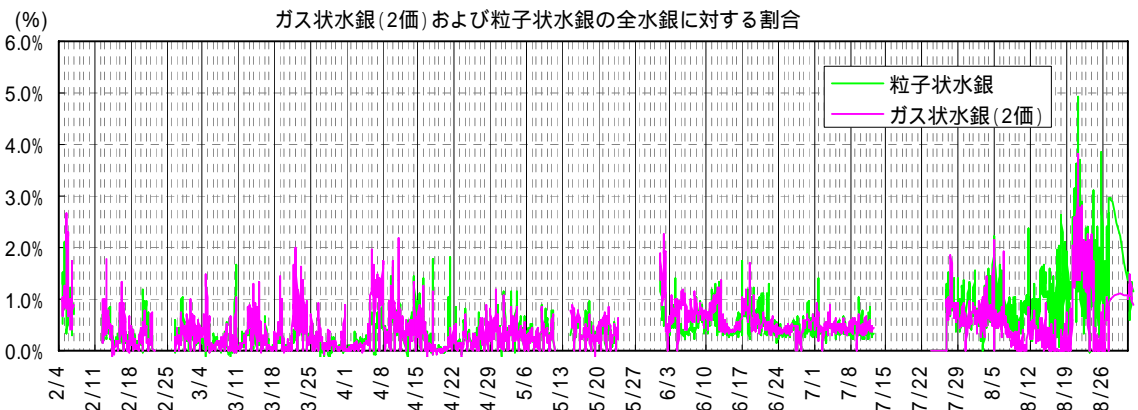
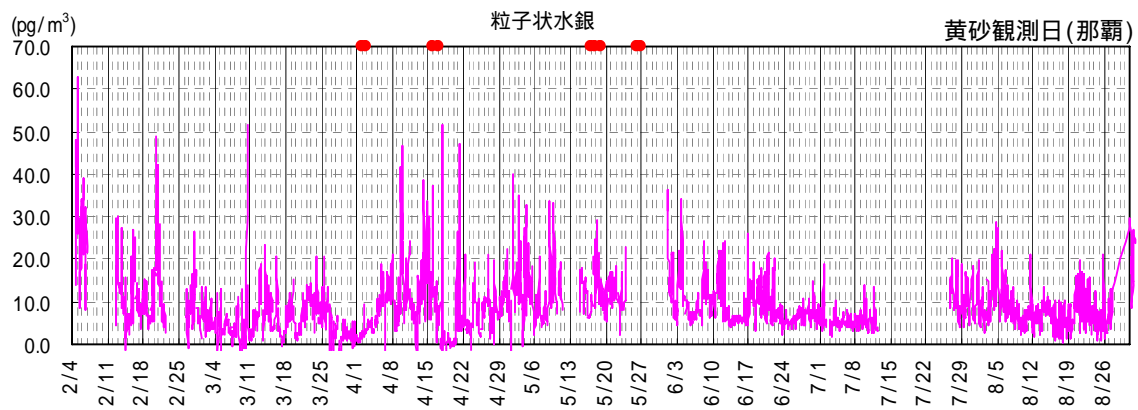
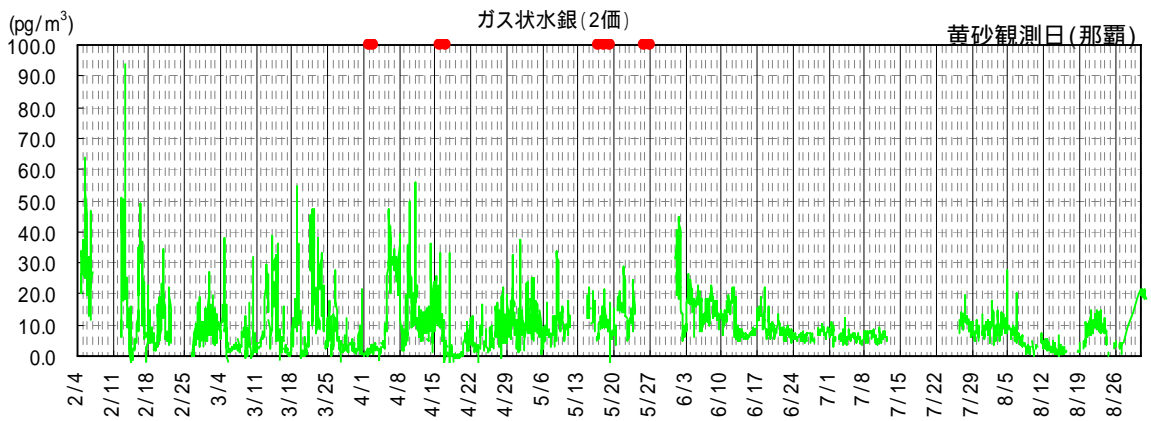
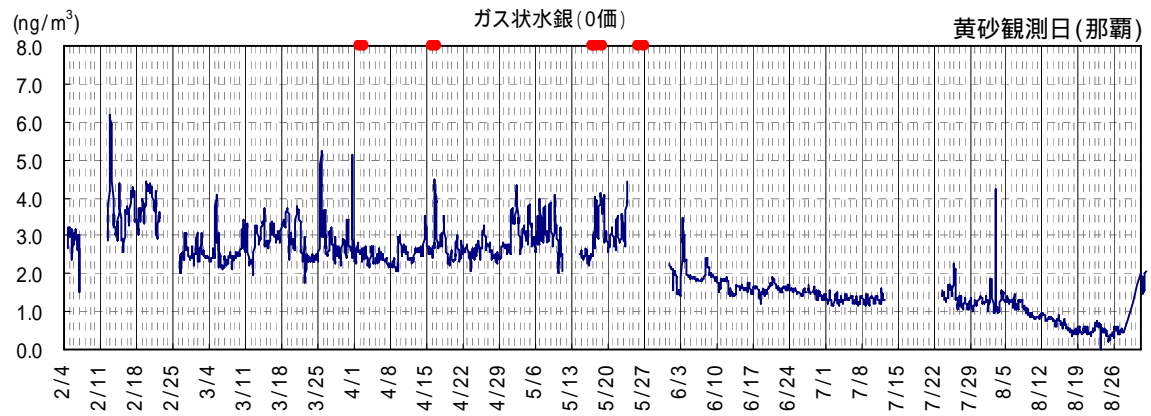


図 5-1 形態別水銀濃度の経時変化 (2/4 ~ 8/31)

2) 連続測定装置と環境省マニュアル法による測定値の比較

Tekran 社製の形態別水銀連続測定装置による測定結果と環境省マニュアル法（「有害大気汚染物質測定方法マニュアル」(平成 11 年 3 月 環境庁)）による測定結果の比較を図 5-2 に示す。

2～5 月の測定結果はいずれも Tekran による測定値が環境省マニュアル法による測定値を上回っていたが、6 月以降、Tekran による測定値は 1～2 ng/m³程度まで低下しており、環境省マニュアル法による測定値とほぼ同レベルとなった。6 月～8 月の測定結果による Tekran による測定値と環境省マニュアル法による測定値の相関は図 5-3 に示すとおりである。

なお、8 月中旬以降に、環境省マニュアル法に比べ、Tekran による測定値が低下している。この原因としては、装置内に水分がたまり、水銀の捕集率が低下した可能性が考えられ、現在、対策を検討中である。

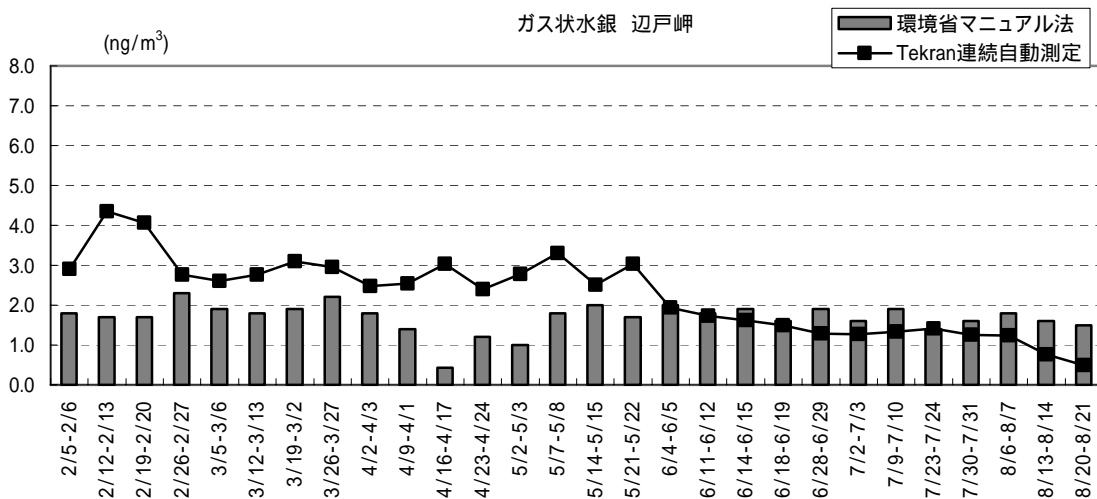


図 5-2 連続測定装置と環境省マニュアル法による測定値の比較(ガス状水銀(0 価))

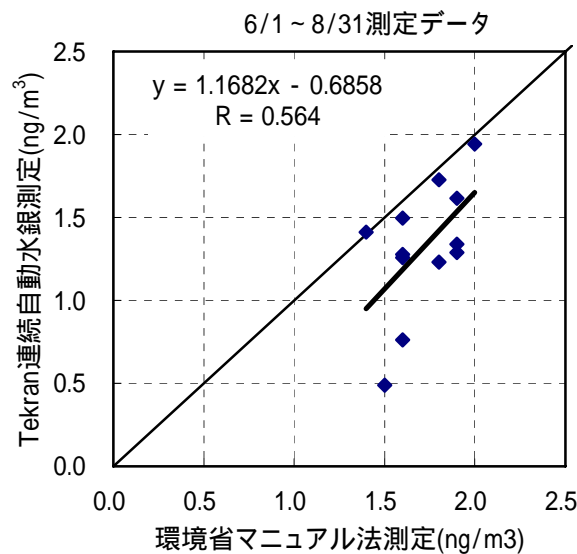
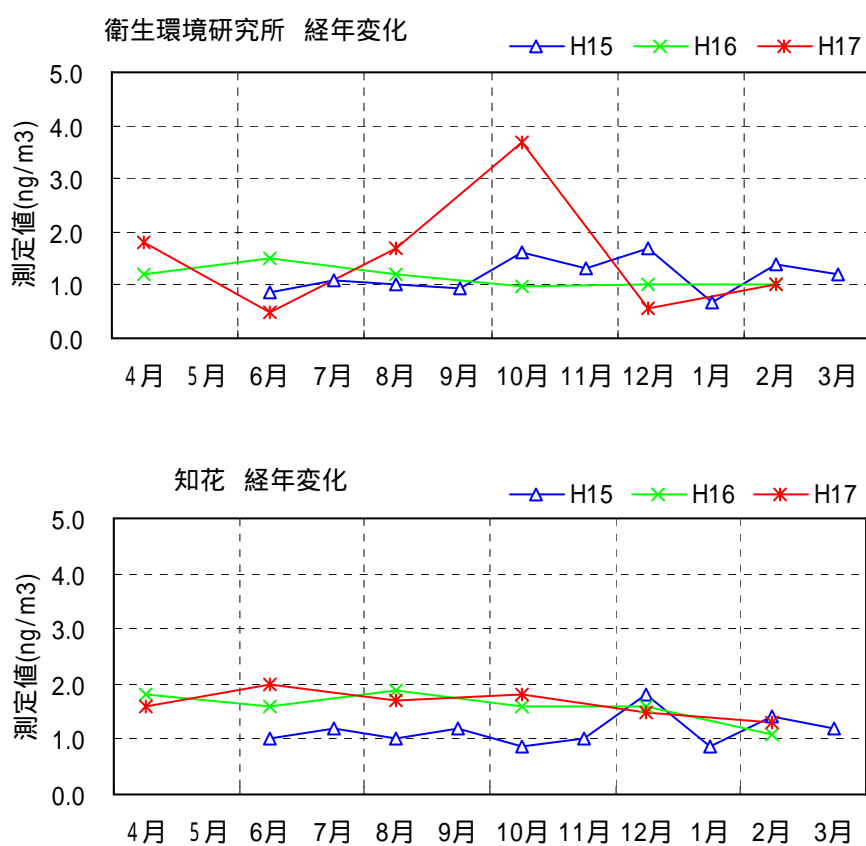


図 5-3 連続測定装置と環境省マニュアル法による測定値の相関(ガス状水銀(0 価))

参考として、自治体が継続して実施している大気汚染調査結果のうち、沖縄県大里村、沖縄市の平成 15 年度から 17 年度のガス状水銀(0 価)濃度の測定結果を図 5-4 に示す。

ガス状水銀(0 価)濃度はおおむね 1 ~ 4ng/m³ の範囲にあり、衛生環境研究所の平成 17 年度を除くと、調査月ごとの濃度の変化は比較的少ない。

本調査とは調査時期が異なるため、濃度そのものを比較することはできないが、ガス状水銀(0 価)濃度の変動が比較的小さい点で、本調査と既存調査は一致する傾向にあった。



測定地点

衛生環境研究所（沖縄県大里村、一般環境大気測定局）

知花局（沖縄県沖縄市、自動車排出ガス測定局）

出典：環境省有害大気汚染マップ

図 5-4 ガス状水銀（0 価）濃度の既存測定結果

3) 測定結果の解析

6月から7月の測定結果を用いて、形態別水銀の時刻別平均濃度、風向別濃度を求めた。

なお、当該期間の月別平均値等は以下に示すとおりである。

表 5-2 形態別水銀濃度の月別平均値、日平均値の最小値、最大値
(平成19年6月~7月)

項目	単位	期間	期間 平均値	最小	最大	有効測定 日数
ガス状水銀 (0価)	ng/m ³	6/1-6/30	1.7	1.4	2.5	28
		7/1-7/31	1.3	1.2	1.4	14
2価水銀	pg/m ³	6/1-6/30	11.5	6.1	31.5	28
		7/1-7/31	7.2	5.4	12.5	14
粒子状水銀	pg/m ³	6/1-6/30	9.6	5.3	18.4	28
		7/1-7/31	7.1	4.9	11.7	14
全水銀	ng/m ³	6/1-6/30	1.7	1.4	2.5	28
		7/1-7/31	1.3	1.2	1.4	14

注1) いずれかの項目で、欠測が4時間を超える場合(2データを超える場合)の日平均値は欠測扱いとした。

(1) 時刻別濃度

形態別水銀の時刻別平均濃度を図 5-5 に示す。

ガス状水銀(0価)、ガス状水銀(2価)及び粒子状水銀ともに、時刻による大きな濃度変化はなかったが、昼間にわずかではあるが濃度が低下する傾向がみられた。

(2) 風向別平均濃度との関係

形態別水銀の風向別平均濃度を図 5-6 に示す。なお、気象データは、辺戸岬大気・エアロゾル観測ステーションの観測値を用いた。

ガス状水銀(0価)、ガス状水銀(2価)及び粒子状水銀ともに、風向による大きな濃度変化はなく、その傾向は、特に、ガス状水銀(0価)において顕著であった。

なお、後方流跡線計算によると、6月及び7月は辺戸岬の東や南側からの気塊が到達した日が多く、大陸側から到達する気塊はほとんどなかった。(図 5-7)

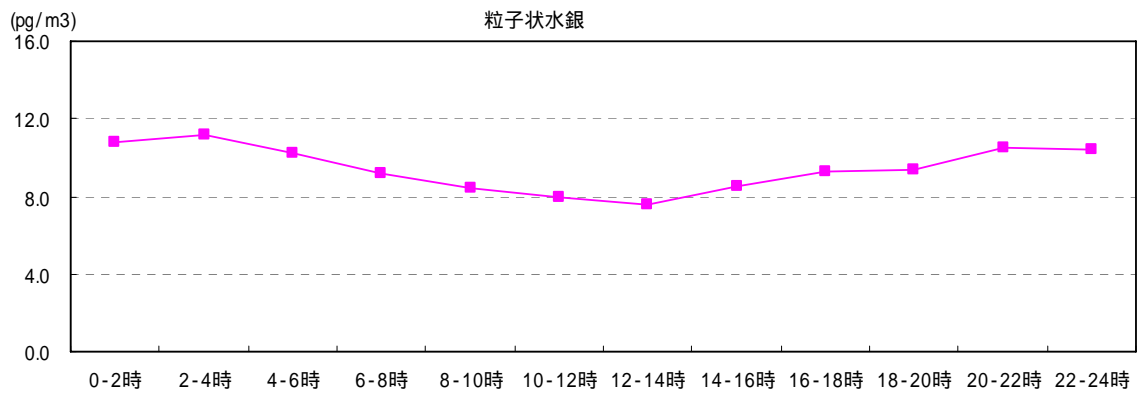
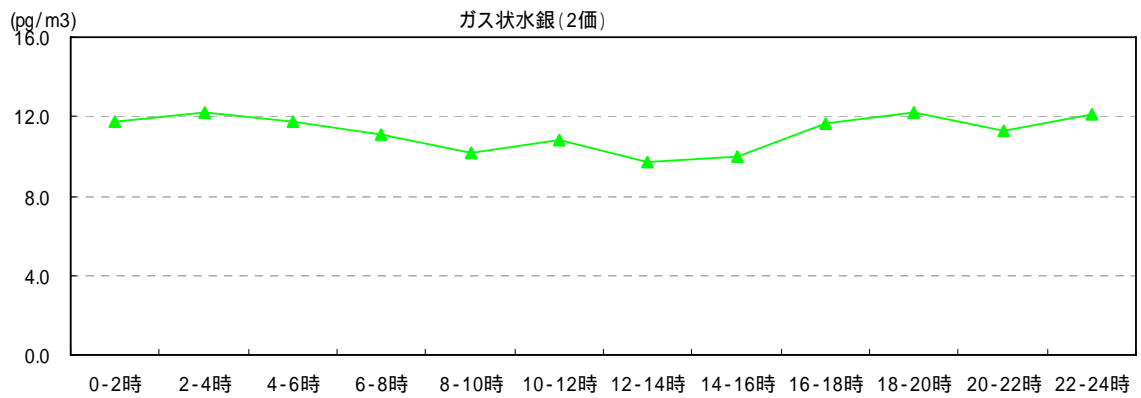
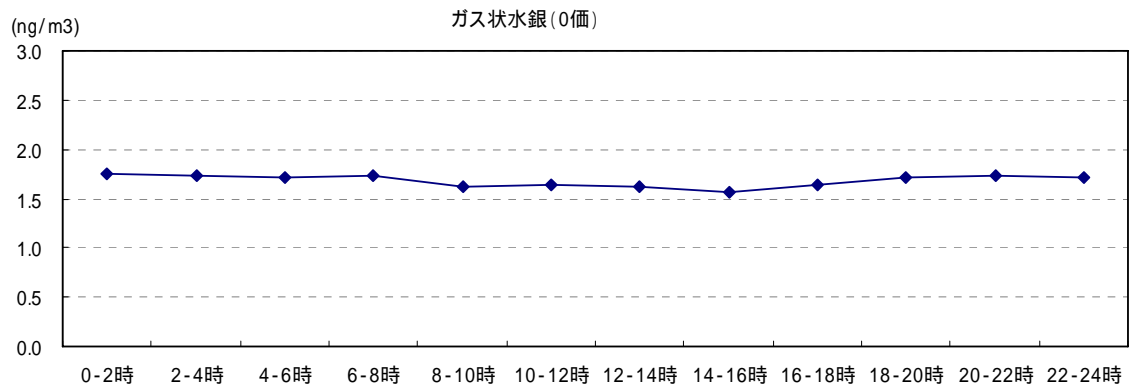


図 5-5 (1) 形態別水銀の時刻別平均濃度 (6/1 ~ 6/30)

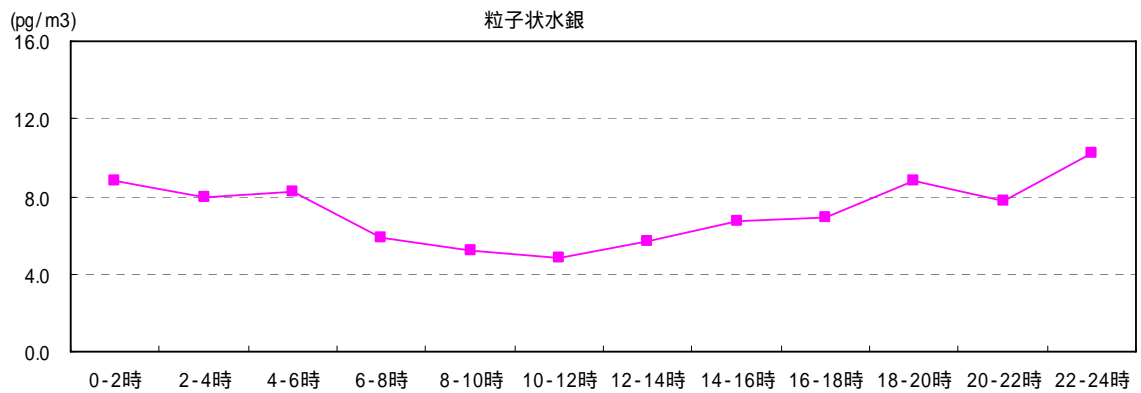
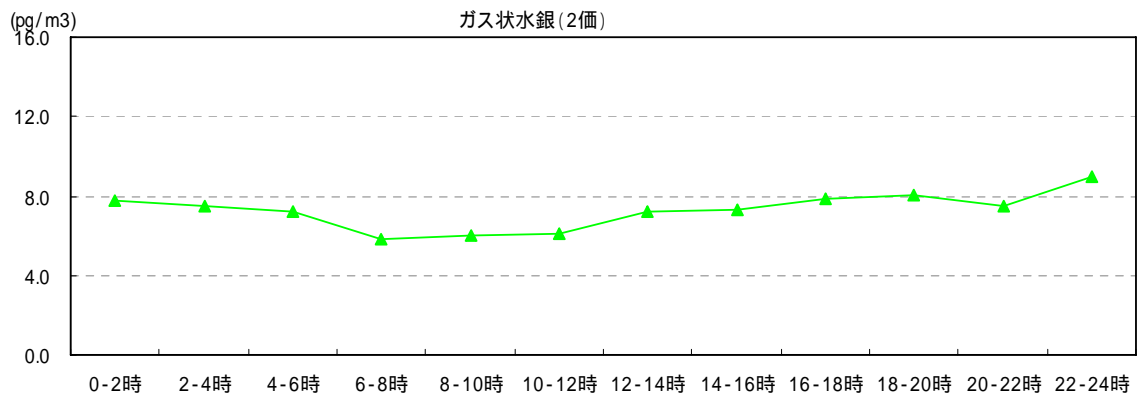
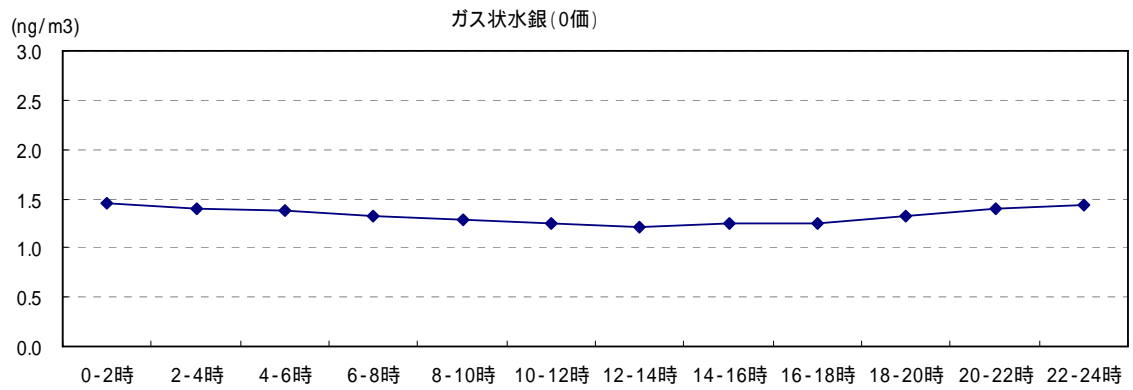
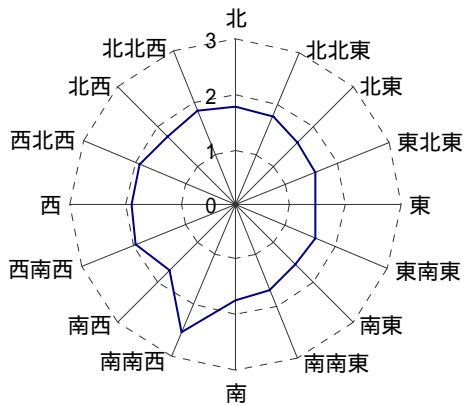
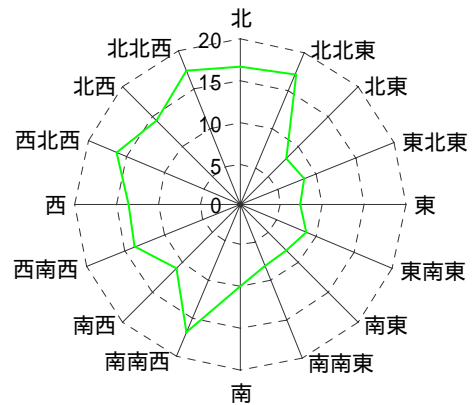


図 5-5 (2) 形態別水銀の時刻別平均濃度 (7/1 ~ 7/31)

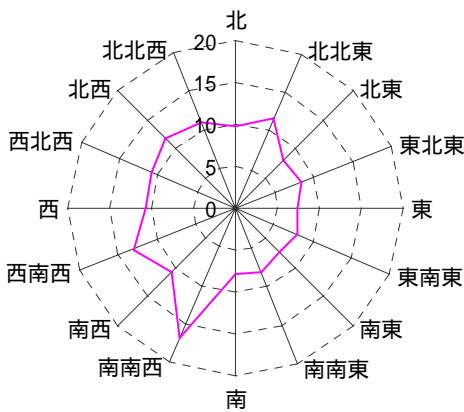
ガス状水銀 (0価) (ng/m³)



ガス状水銀 (2価) (pg/m³)

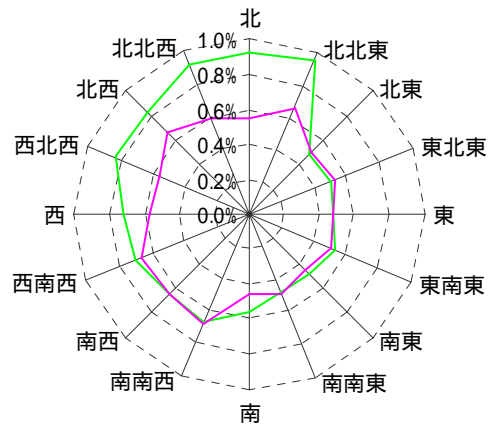


粒子状水銀 (pg/m³)

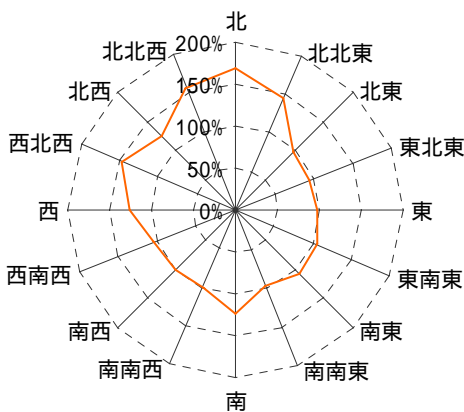


全水銀に対する割合

— ガス状水銀 (2価) — 粒子状水銀



ガス状水銀 (2価)/粒子状水銀 (%)



風配図

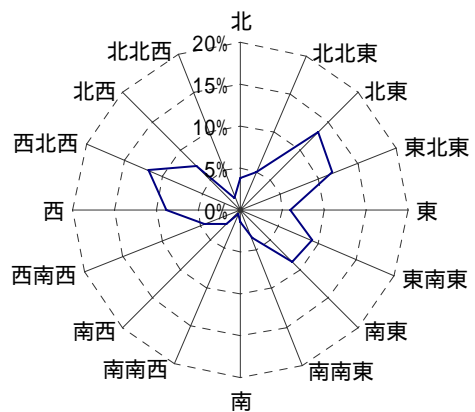
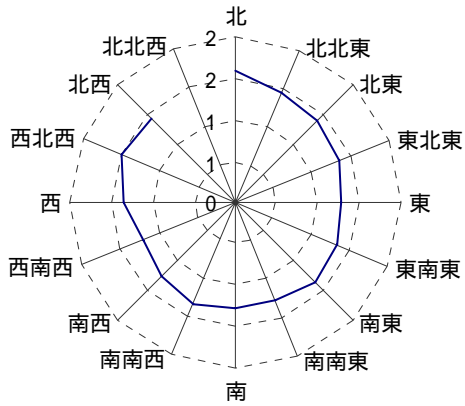
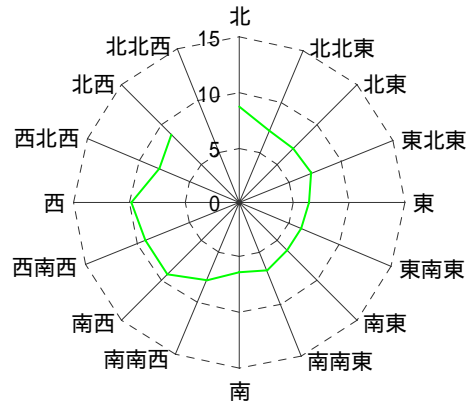


図 5-6(1) 形態別水銀の風向別平均濃度 (風配図) (6/1 ~ 6/30)

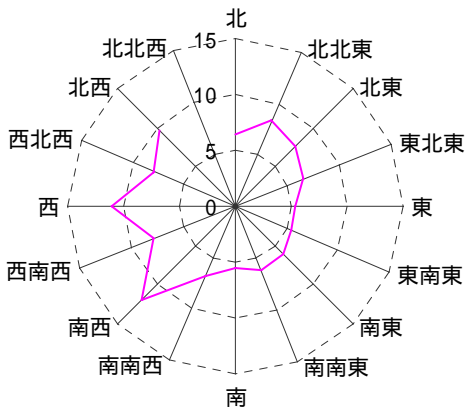
ガス状水銀 (0価) (ng/m³)



ガス状水銀 (2価) (pg/m³)

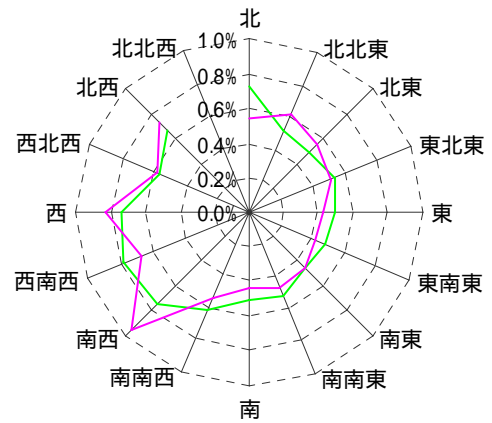


粒子状水銀 (pg/m³)

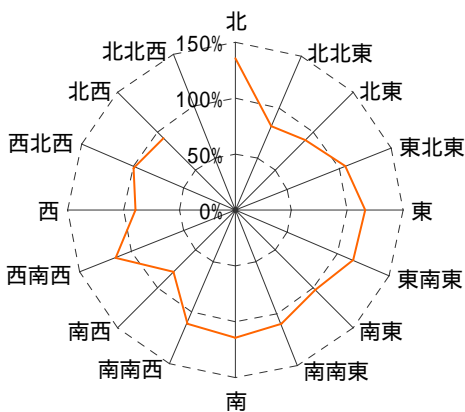


全水銀に対する割合

— ガス状水銀 (2価) — 粒子状水銀



ガス状水銀 (2価) / 粒子状水銀 (%)



風配図

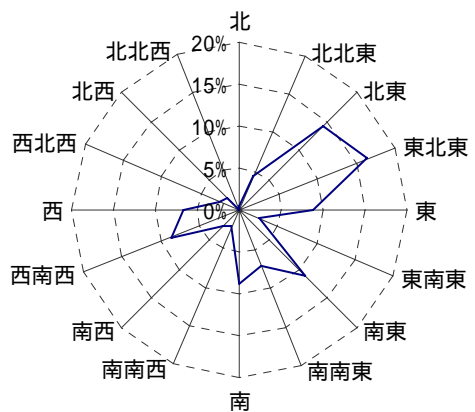
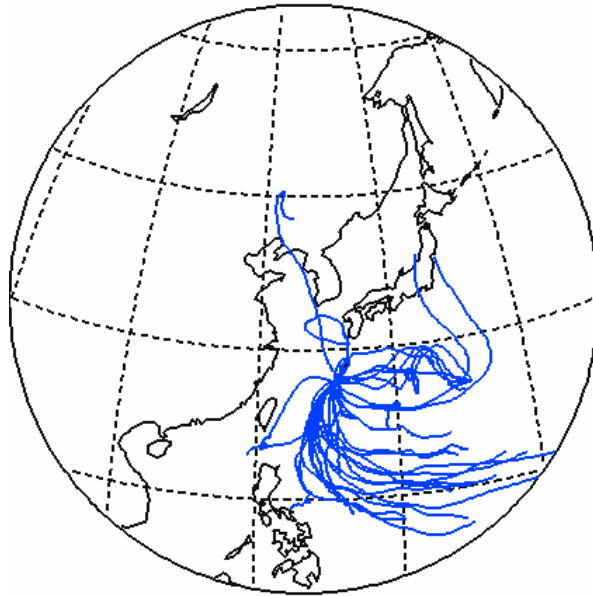
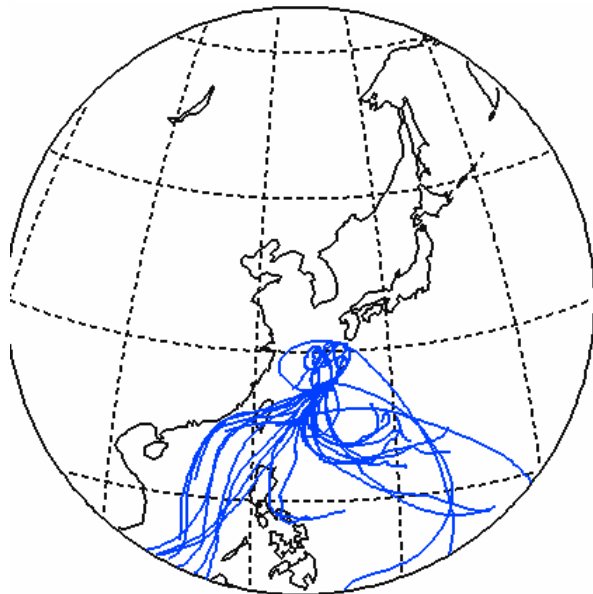


図 5-6(2) 形態別水銀の風向別平均濃度 (風配図) (7/1 ~ 7/31)



平成 19 年 6 月



平成 19 年 7 月

計算の起点：辺戸岬上空 500m
 流跡線の長さ：5 日間(120 時間)
 計算間隔：1 時間
 気象データ：米国の環境予測センター(NCEP)客観解析データ(6 時間間隔)

注) 国立環境研究所地球環境研究センターが開発した流跡線解析システム(CGEM-METEX)より作成

図 5-7 辺戸岬における後方流跡線計算結果

4) 形態別水銀連続測定装置に関する諸検討

平成 19 年 2 月～5 月の測定値が高めの値を示していた点について、その原因を検討するとともに、測定装置の測定精度の確認と向上のため、以下の検討を行った。（一部は今後対応予定）

表 5-3 形態別水銀連続測定装置の検討項目及び対応状況

検討項目		対応
採取口関連	採取口の洗浄とフィルター交換	
	採取口の加温（結露防止）	
二価・粒子状水銀捕集部	二価と粒子状水銀捕集経路の汚染の確認	
検出器	水銀ゼロガスを通した場合の測定値の確認	
	水銀ゼロガスの低減検討	
水分対策	除湿機能の強化など	検討中

(a) 採取口について

形態別連続測定装置は、サンプラーの下部に大気採取口があるが、長期観測を続けていると、採取口に水滴や粉じんが付着し、特に黄砂の後には土埃がたまるケースも見られた。点検時に採取口の洗浄とフィルター交換を行うことで、水銀濃度が低下する場合があります、このような採取口への水滴や粉じん等の付着が測定誤差の原因となっている可能性が考えられたため、6 月以降、下記の対応を行った。

点検時に採取口の洗浄とフィルターの交換を実施

採取口の加温による結露防止(採取口に電熱線内蔵カバーを装着) 写真参照



写真1 採取口のカバー（電熱線内蔵）



写真2 採取口のカバーと電源ボックス

(b) 二価水銀・粒子状水銀捕集経路における汚染有無の確認

採取口から採取した大気は、0 価水銀の測定時を含め、常に二価水銀と粒子状水銀の捕集部を経由して測定部に入る。二価水銀・粒子状水銀捕集経路に汚染が無いことを確認するため、“採取経路から二価・粒子状水銀捕集部を取り除いた場合”と“通常の場合”の値を比較したが、両者に差はなく、二価水銀・粒子状水銀捕集経路は汚染されていないことが確認された。

(c) 検出器について

水銀ゼロガスを流した場合の測定値の確認

検出器の大気流入口の直前に活性炭カラムを装着し、検出器の測定流量に合わせ流速 1L/min で測定したところ、水銀濃度は 0 ng/m³まで低下した。このことから、検出器がゼロを示すことを確認できた。

二価・粒子状水銀測定時のブランクガス中の水銀低減の検討

二価・粒子状水銀の測定に用いるブランクガス中の水銀濃度を低減するため、活性炭を2種類の大きさカラムにつめ、流速 10L/min の条件で水銀の除去効果を検討した。検討結果は以下のとおりであり、除去率は最大で約 50%であった。今後、除去率をさらに高めるための検討を行う予定である。

ケース 1：直径 2cm × 長さ 50cm カラム・・・除去率約 25%

ケース 2：直径 10cm × 長さ 100cm カラム・・・除去率約 50%



写真3 ブランクガス中の水銀低減（活性炭カラム装着）

(d) 水分対策について

8月中旬以降の測定において、装置内に水分がたまり水銀濃度が低下する可能性が考えられた。装置内には大気中の水分を除去する機能（ソーダライム等）はあるが、辺戸岬のような高温・多湿な地域では、除湿能力が不足している可能性が考えられる。このため、水分対策として、除湿機能を強化するなどの検討を行う予定である。

以上の結果、Tekran 社の形態別水銀連続測定装置を辺戸岬で使用するには、

- ・ 採取口の洗浄等の定期的なメンテナンスが必要であること。
- ・ 水分対策が必要であること。

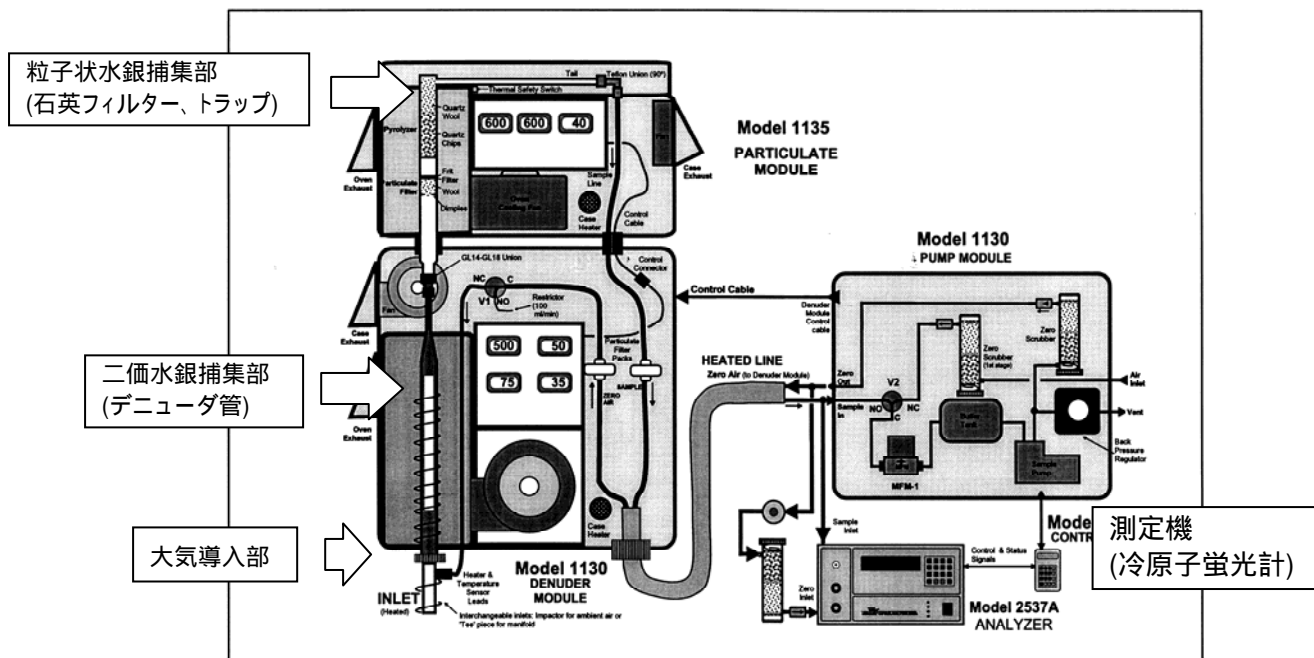
等が確認された。

今後は、モニタリングを継続しつつ、測定装置の検証を進め、バックグラウンド地域における水銀監視の手法について検討を行う予定である。

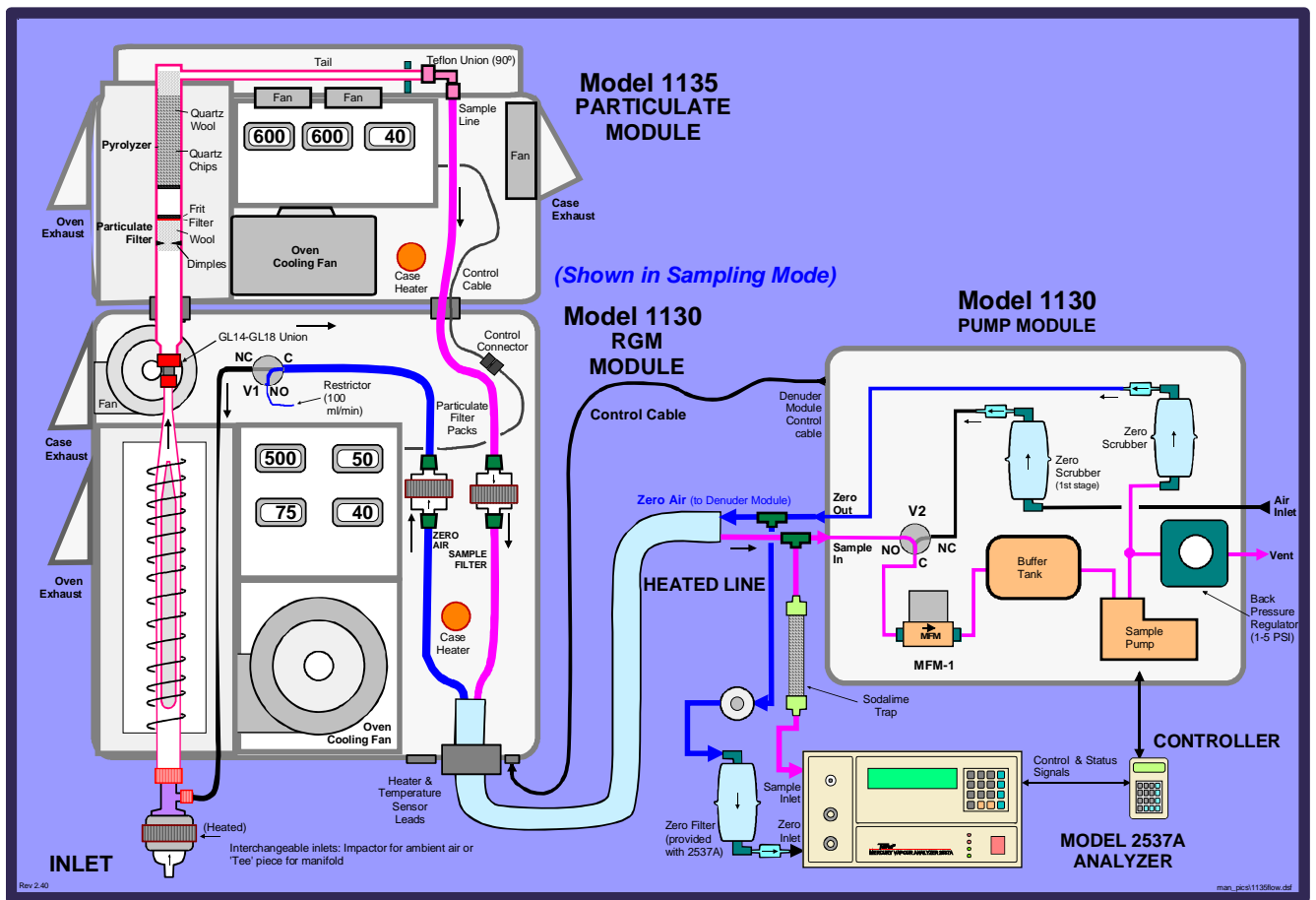
形態別水銀連続測定装置の概要

導入部より吸引された大気は壁面に塩化カリウムを塗布した石英製デニューダ管において二価水銀を、次いで石英フィルター、トラップによって粒子状水銀を捕集した後、大気中ガス状(0価)水銀が測定機に導入される。

大気中二価水銀及び粒子状水銀は一定時間(通常設定では 1 時間)捕集され、その後加熱脱着濃度測定が行われる。二価水銀及び粒子状水銀を捕集している 1 時間の間、測定機はガス状水銀の測定を行い、続く 1 時間において二価水銀及び粒子状水銀の測定を行う。

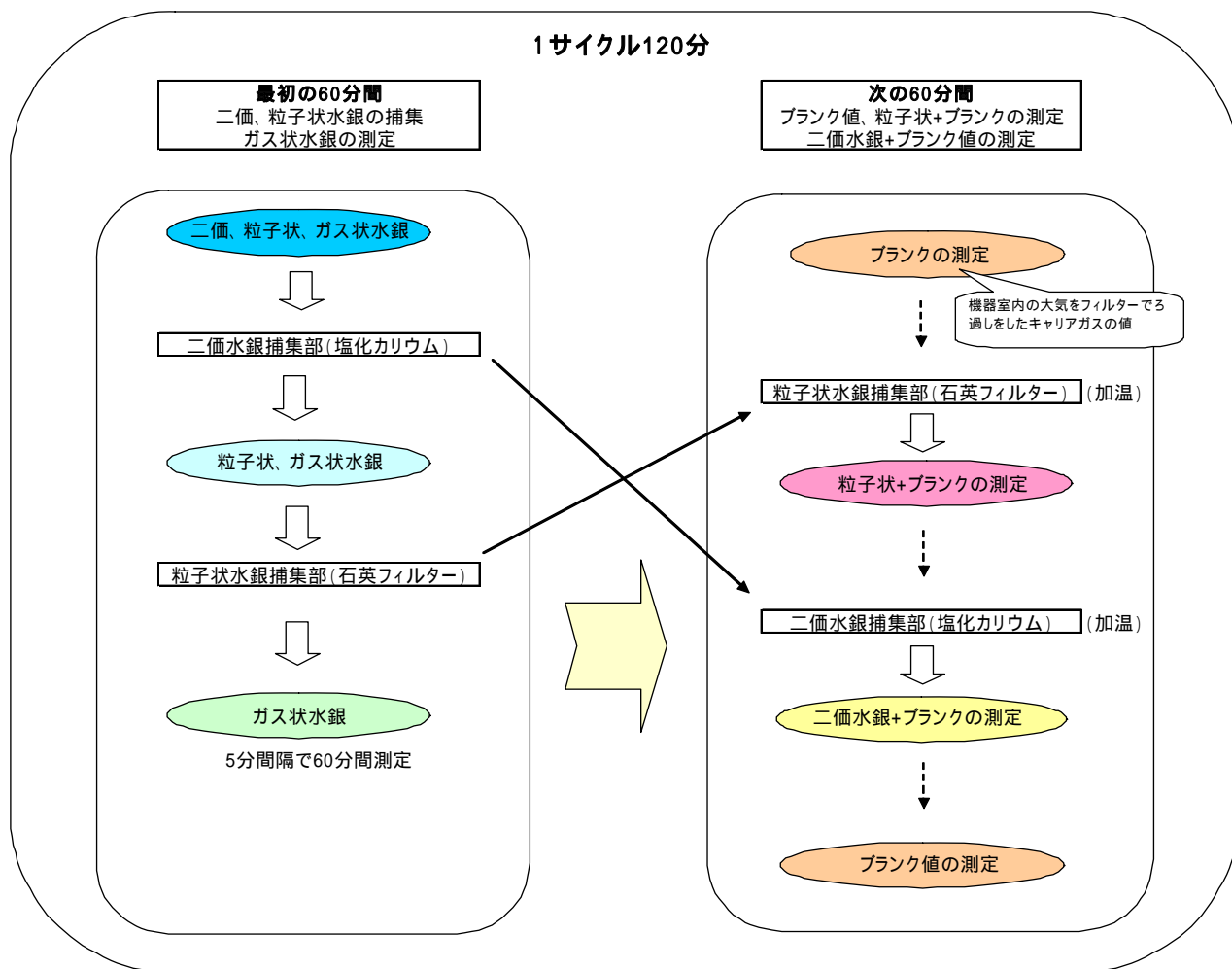


参考図 1 形態別水銀連続測定装置の構造図 (測定装置マニュアルより)

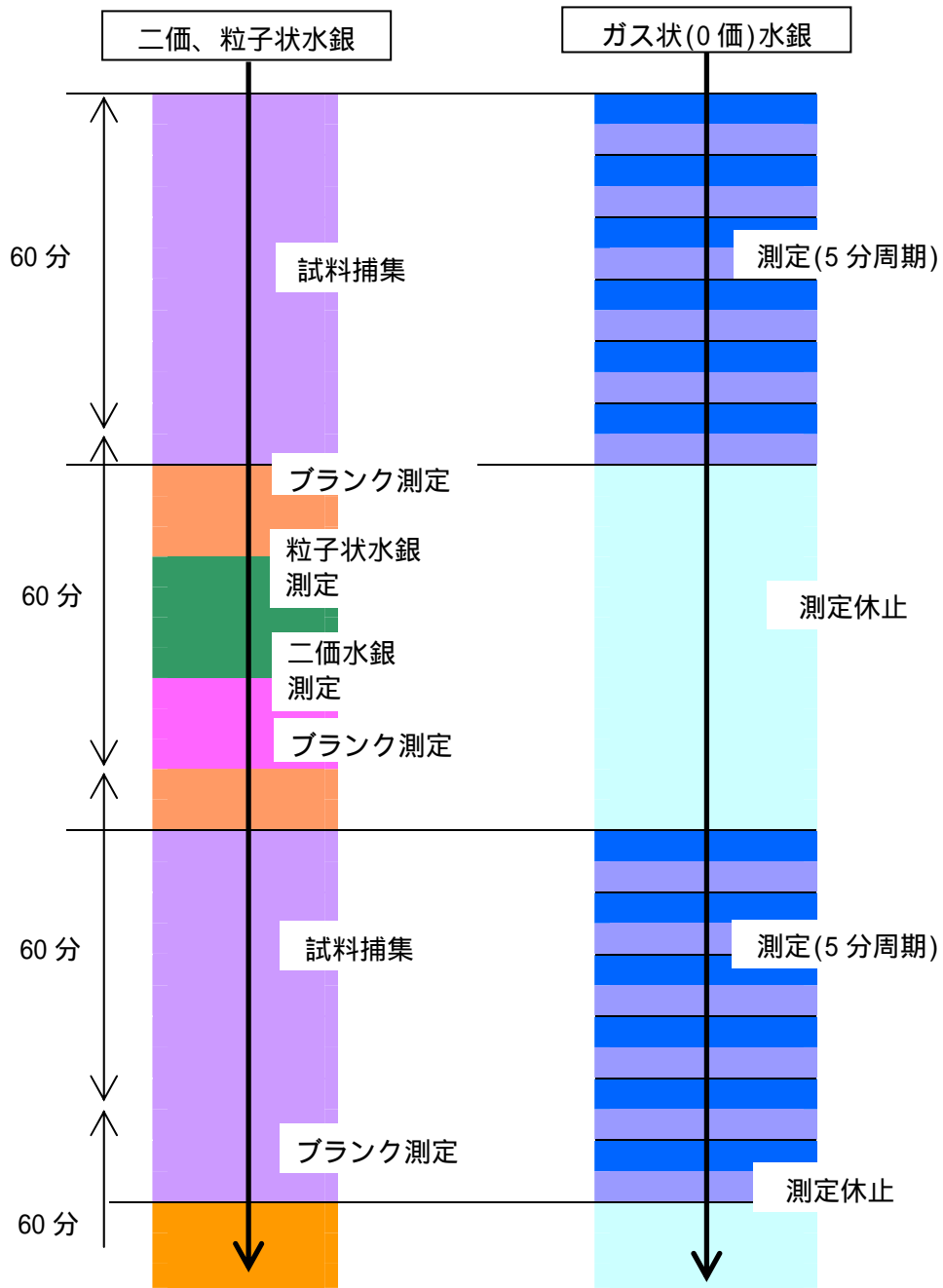


出典：Tekran 社資料

参考図 2 形態別水銀連続測定装置のエア-の流れ



参考図3 形態別水銀連続測定装置の測定サイクル(1)



参考図4 形態別水銀連続測定装置の測定サイクル(2)

5.2 粒子状物質の有害金属類等

1) 測定結果概要

粒子状物質中の有害金属類等の測定結果を表 5-4 及び図 5-8 に示す。

粒子中の Cr は $<0.39 \sim 2.5\text{ng}/\text{m}^3$ 、Cd は $<0.023 \sim 0.66\text{ng}/\text{m}^3$ 、Pb は $0.14 \sim 22\text{ng}/\text{m}^3$ 等であった。

項目によって異なるが、4/2～4/9、4/9～4/16、4/30～5/7、5/14～5/21、7/23～7/30 等に濃度のピークが現れていた。

気象庁によると那覇における黄砂観測日は4/2、4/3、4/16、4/17、5/17、5/18、5/19、5/26、5/27 の9日間であった。黄砂が観測された日は上述のように有害金属の濃度も高い傾向がみられた。

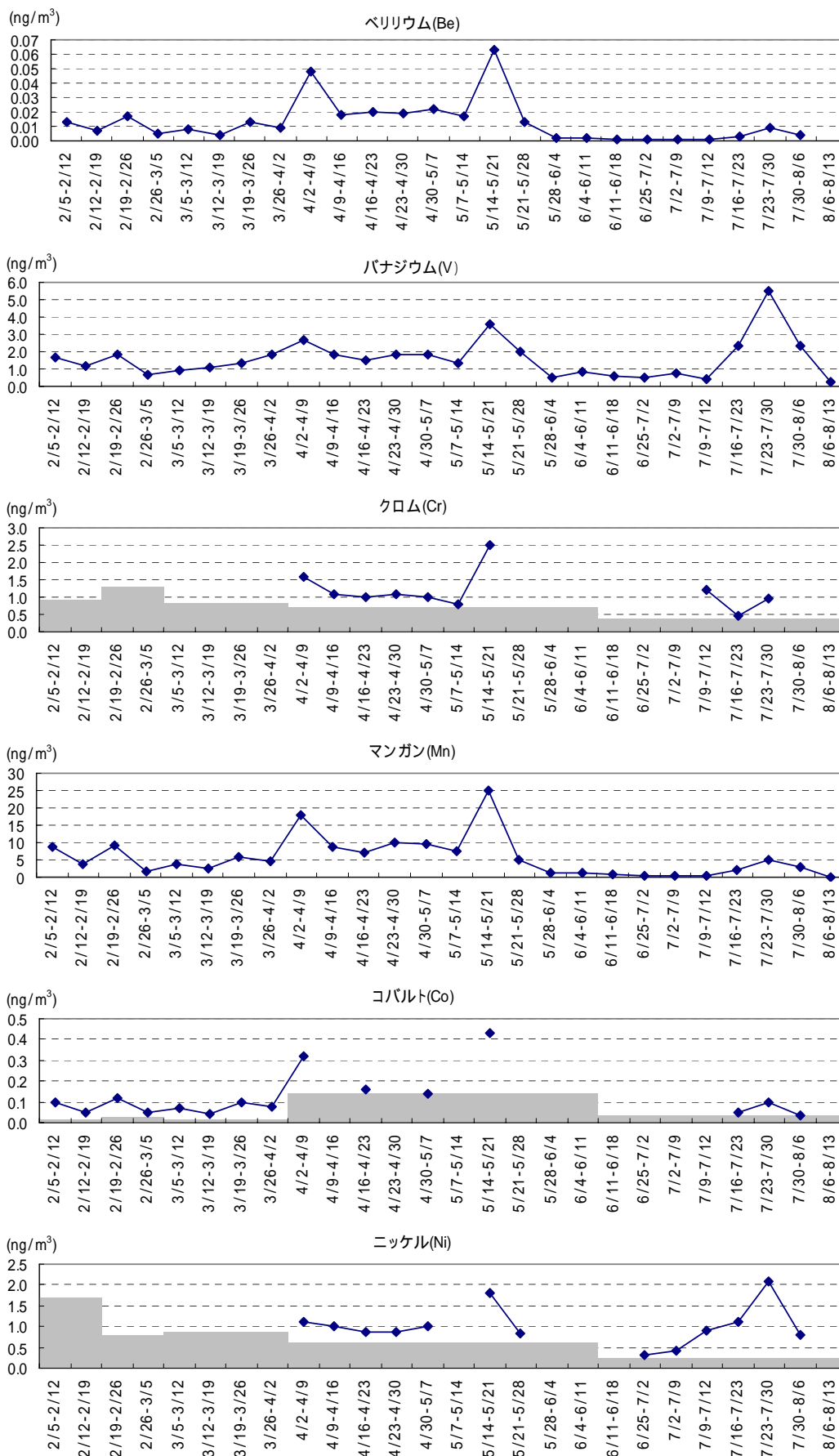
表 5-4 粒子状物質中の有害金属類等測定結果の概要（辺戸岬）

単位：ng/m³

項目	2/5-2/12	2/12-2/19	2/19-2/26	2/26-3/5	3/5-3/12	3/12-3/19	3/19-3/26	3/26-4/2	4/2-4/9	4/9-4/16	4/16-4/23	4/23-4/30	4/30-5/7	5/7-5/14	5/14-5/21
Be	0.013	0.0066	0.017	0.0050	0.0084	0.0044	0.013	0.0092	0.048	0.018	0.02	0.019	0.022	0.017	0.063
V	1.7	1.2	1.8	0.70	0.92	1.1	1.3	1.8	2.7	1.8	1.5	1.8	1.8	1.3	3.6
Cr	<0.93	<0.93	<1.3	<1.3	<0.83	<0.83	<0.83	<0.83	1.6	1.1	0.98	1.1	0.98	0.78	2.5
Mn	8.8	3.6	9.2	1.8	3.8	2.7	5.8	4.4	18	8.7	7	10	9.6	7.5	25
Co	0.095	0.052	0.12	0.048	0.068	0.039	0.098	0.073	0.32	<0.14	0.16	<0.14	0.14	<0.14	0.43
Ni	<1.7	<1.7	<0.81	<0.81	<0.87	<0.87	<0.87	<0.87	1.1	1	0.88	0.86	1	<0.62	1.8
Cu	1.4	0.77	1.5	0.68	0.56	0.63	1.1	0.77	2.2	2.5	1.7	2.1	2.4	0.95	3
Zn	27	<11	13	<9.0	<7.8	8.0	14	9.6	19	29	13	29	39	13	45
As	2.2	0.91	1.7	0.27	0.74	0.70	1.0	0.68	1.7	1.9	0.98	1.7	2.1	0.94	2.5
Se	1.1	0.45	0.79	0.24	0.41	0.40	0.56	0.43	0.58	0.93	0.52	0.9	1.3	0.48	1.2
Cd	0.55	0.32	0.37	0.044	0.14	0.14	0.21	0.16	0.31	0.42	0.17	0.53	0.49	0.2	0.66
Sn	0.74	0.23	0.37	0.068	0.19	0.23	0.44	0.32	0.69	0.95	0.41	0.95	1.2	0.36	1.4
Sb	1.4	0.25	0.38	0.082	0.15	0.21	0.33	0.26	0.48	0.63	0.29	0.64	0.86	0.26	0.89
Te	0.071	0.018	0.026	<0.0069	0.011	0.011	0.029	0.013	0.025	0.037	0.016	0.037	0.052	0.023	0.055
Ba	3.2	1.8	6.9	1.1	2.2	0.90	3.0	2.0	13.0	4.8	5.4	5.4	5.4	4.9	19.0
Tl	0.11	0.035	0.080	<0.034	0.032	0.031	0.057	0.033	0.092	0.12	0.052	0.13	0.15	0.058	0.18
Pb	20	5.5	11	1.4	3.6	3.9	6.9	4.0	10.0	14.0	6.3	17.0	18.0	7.6	22.0
Na	2900	2900	3700	4700	6600	4200	3900	2800	4200	2000	3900	2700	2000	1100	2400
Mg	260	240	240	220	590	430	300	210	290	150	210	200	180	150	460
Al	180	91	250	82	140	80	250	170	830	280	310	340	370	390	1600
K	380	270	390	240	400	250	340	280	780	370	450	470	450	270	1000
Ca	270	180	250	110	280	220	260	220	380	280	320	270	310	260	1300
Fe	100	47	140	49	79	46	120	85	480	160	190	200	190	190	800
粉塵量 (μg/m ³)	-	-	36	28	23	19	28	18	48	28	37	33	35	50	56

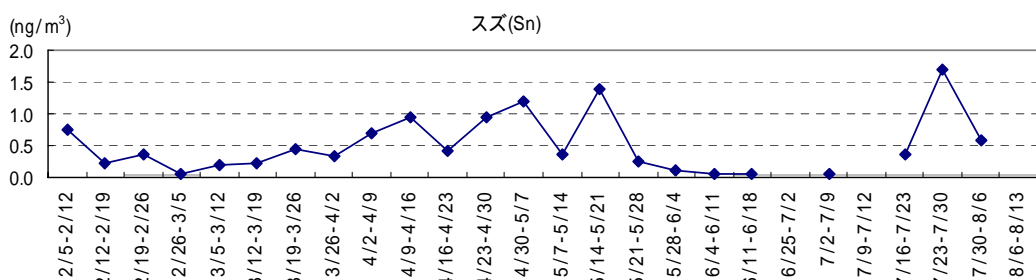
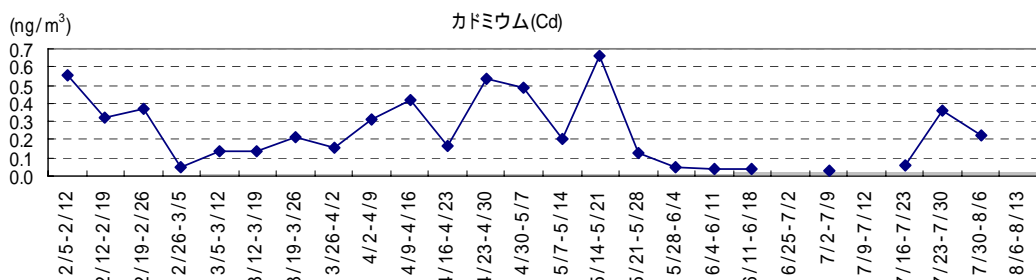
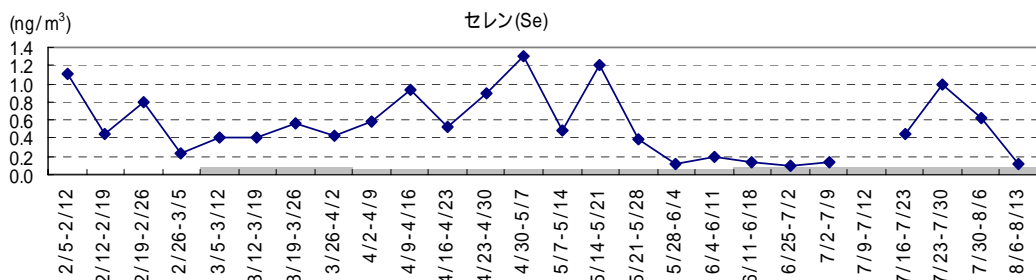
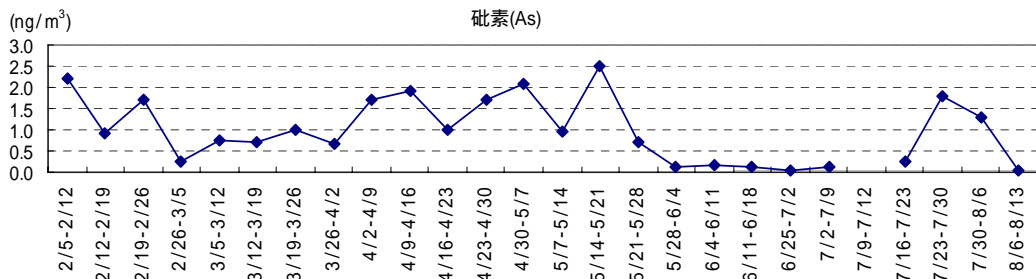
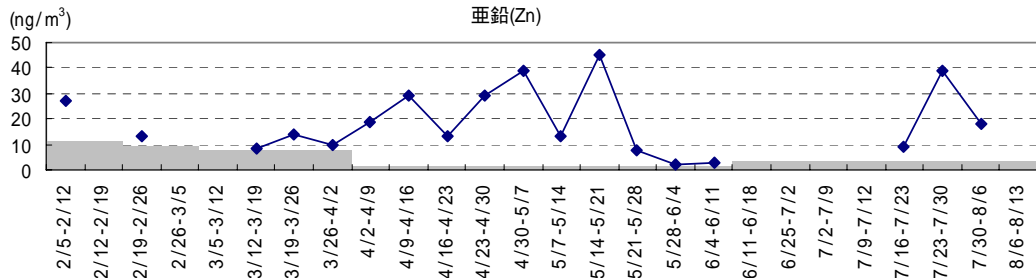
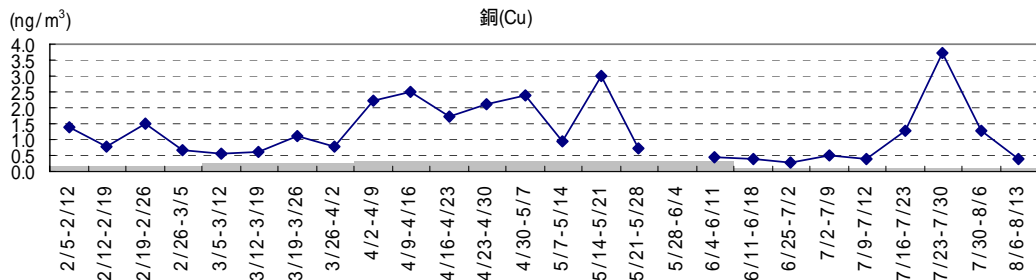
項目	5/21-5/28	5/28-6/4	6/4-6/11	6/11-6/18	6/25-7/2	7/2-7/9	7/9-7/12	7/16-7/23	7/23-7/30	7/30-8/6	8/6-8/13	平均	最小	最大
Be	0.013	0.0021	0.0023	0.0015	0.00072	0.00092	0.00051	0.0035	0.0095	0.004	<0.0005	0.012	<0.0005	0.063
V	2	0.47	0.83	0.6	0.51	0.76	0.38	2.3	5.5	2.3	0.27	1.6	0.27	5.5
Cr	<0.69	<0.69	<0.69	<0.39	<0.39	<0.39	1.2	0.46	0.95	<0.39	<0.39	0.90	<0.39	2.5
Mn	4.9	1.1	1.1	0.84	0.26	0.38	0.46	1.9	5.2	2.8	0.2	5.6	0.2	25
Co	<0.14	<0.14	<0.14	<0.032	<0.032	<0.032	<0.032	0.049	0.096	0.032	<0.032	0.11	<0.032	0.43
Ni	0.84	<0.62	<0.62	<0.24	0.32	0.42	0.91	1.1	2.1	0.81	<0.24	0.92	<0.24	2.1
Cu	0.74	<0.33	0.45	0.4	0.3	0.52	0.39	1.3	3.7	1.3	0.4	1.2	<0.33	3.7
Zn	7.8	2.4	3	<3.2	<3.2	<3.2	<3.2	8.9	39	18	<3.2	15	<3.2	45
As	0.72	0.14	0.17	0.13	0.046	0.12	<0.033	0.26	1.8	1.3	0.044	0.95	<0.033	2.5
Se	0.38	0.11	0.19	0.13	0.096	0.13	<0.072	0.44	1	0.63	0.12	0.52	<0.072	1.3
Cd	0.13	0.045	0.038	0.04	<0.023	0.025	<0.023	0.057	0.36	0.22	<0.023	0.22	<0.023	0.66
Sn	0.26	0.12	0.058	0.059	<0.046	0.048	<0.046	0.35	1.7	0.57	<0.046	0.46	<0.046	1.7
Sb	0.19	0.055	0.056	0.083	0.078	0.077	<0.045	0.21	0.91	0.41	<0.045	0.36	<0.045	1.4
Te	0.016	0.015	<0.014	<0.013	<0.013	<0.013	<0.013	<0.013	0.052	0.031	<0.013	0.024	<0.0069	0.071
Ba	3.4	0.5	0.7	0.4	0.4	0.5	0.2	1.0	1.8	0.9	<0.13	3.4	<0.13	19
Tl	0.033	0.0073	0.0064	<0.031	<0.031	<0.031	<0.031	<0.031	0.072	0.056	<0.031	0.060	0.0064	0.18
Pb	3.9	1.2	1.0	1.0	0.2	0.5	0.1	3.3	13.0	8.3	0.4	7.1	0.14	22
Na	1300	340	2900	2000	1600	2500	2600	3300	890	1100	3200	2759	340	6600
Mg	120	40	260	150	130	180	210	200	86	110	160	222	40	590
Al	260	48	58	51	15	23	17	69	170	54	30	237	15	1600
K	270	59	200	180	90	120	110	190	190	130	170	310	59	1000
Ca	160	36	170	150	110	170	130	190	150	86	120	245	36	1300
Fe	130	19	24	15	<8	11	12	37	75	26	<8	125	<8	800
粉塵量 (μg/m ³)	22	23	18	24	32	35	85	53	51	48	47	37	18	85

- 注：1. 7/9～7/12 は台風襲来のため期間が短い
 2. 表中網掛けは、那覇において黄砂が観測された日を含む。



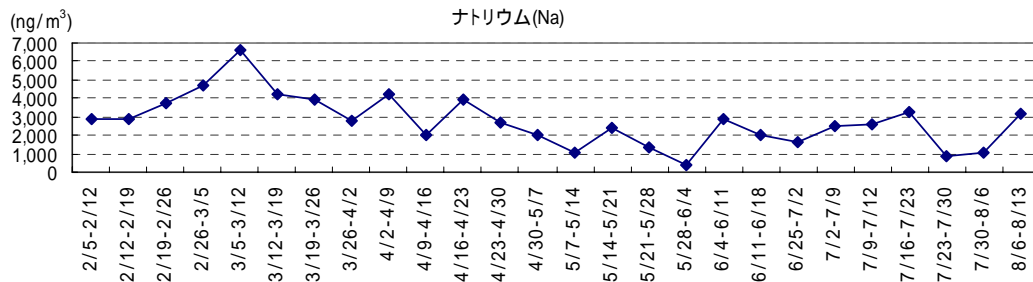
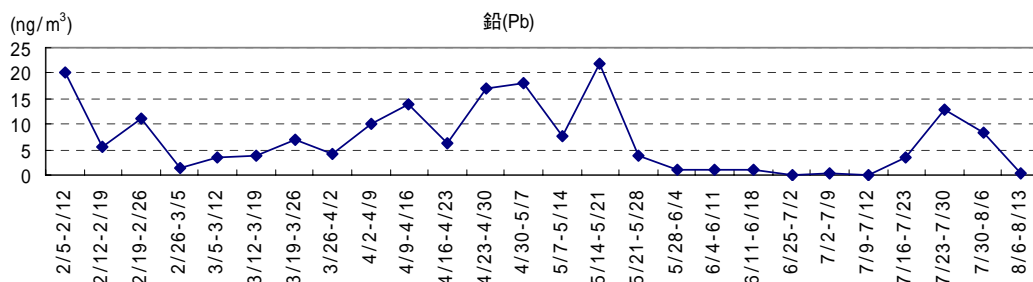
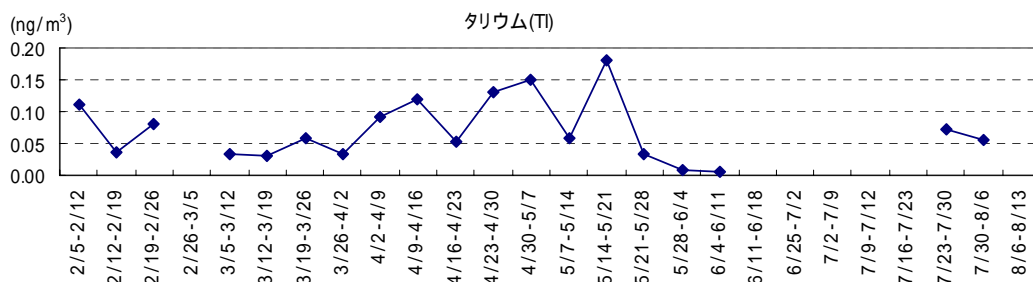
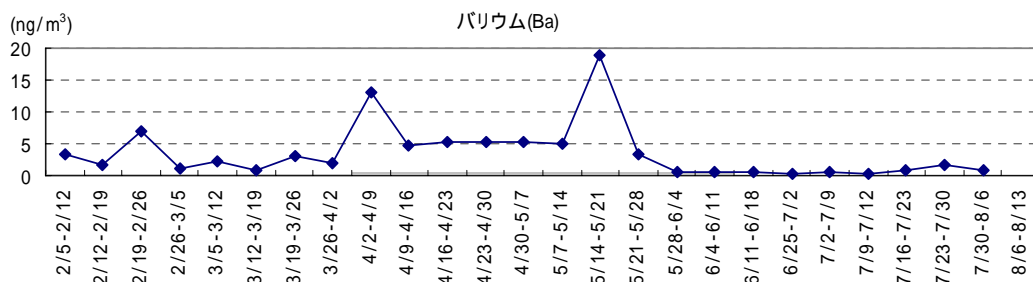
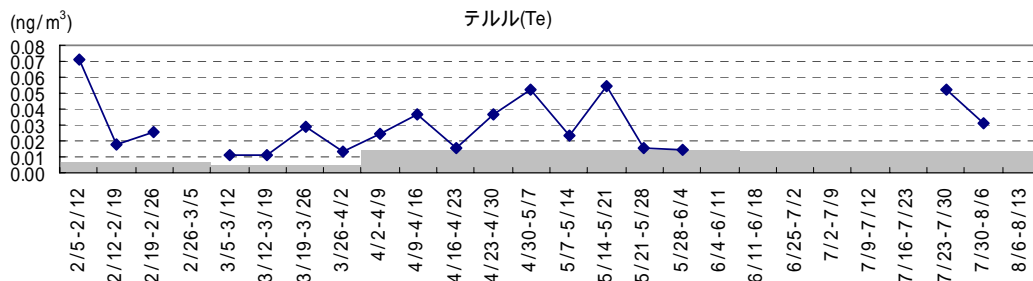
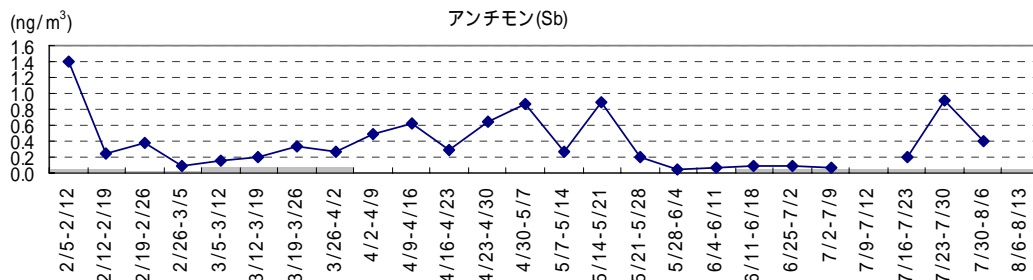
注：1. 黄砂観測日は4/2、4/3、4/16、4/17、5/17、5/18、5/19、5/26、5/27
 2. 図中のグレーゾーンは定量下限値以下を示す。

図 5-8(1) 粒子状物質中の濃度 (Be、V、Cr、Mn、Co、Ni)



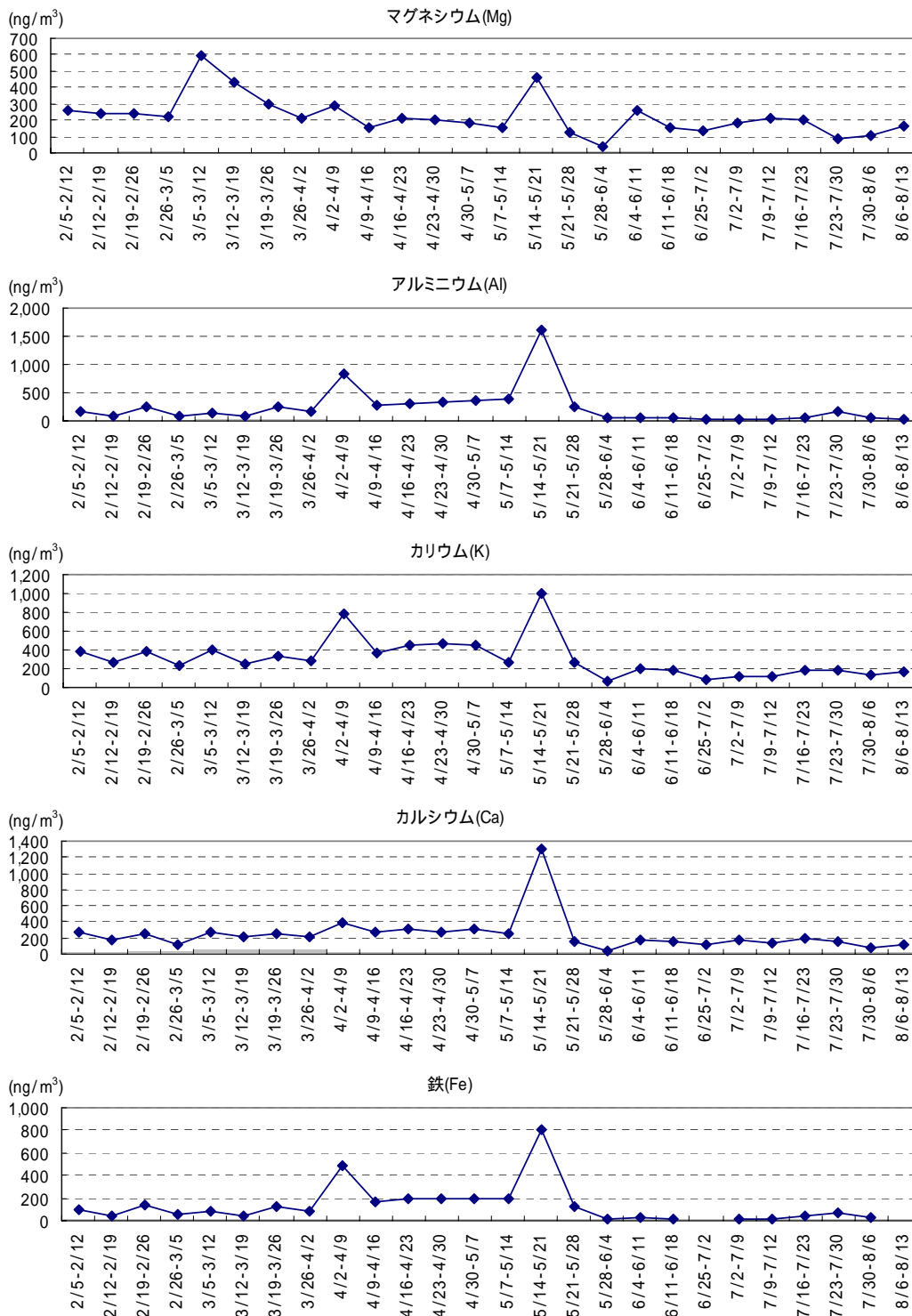
注：1. 黄砂観測日は4/2、4/3、4/16、4/17、5/17、5/18、5/19、5/26、5/27
 2. 図中のグレーゾーンは定量下限値以下を示す。

図 5-8(2) 粒子状物質中の濃度 (Cu、Zn、As、Se、Cd、Sn)



注：1. 黄砂観測日は4/2、4/3、4/16、4/17、5/17、5/18、5/19、5/26、5/27
 2. 図中のグレーゾーンは定量下限値以下を示す。

図 5-8(3) 粒子状物質中の濃度 (Sb、Te、Ba、Tl、Pb、Na)



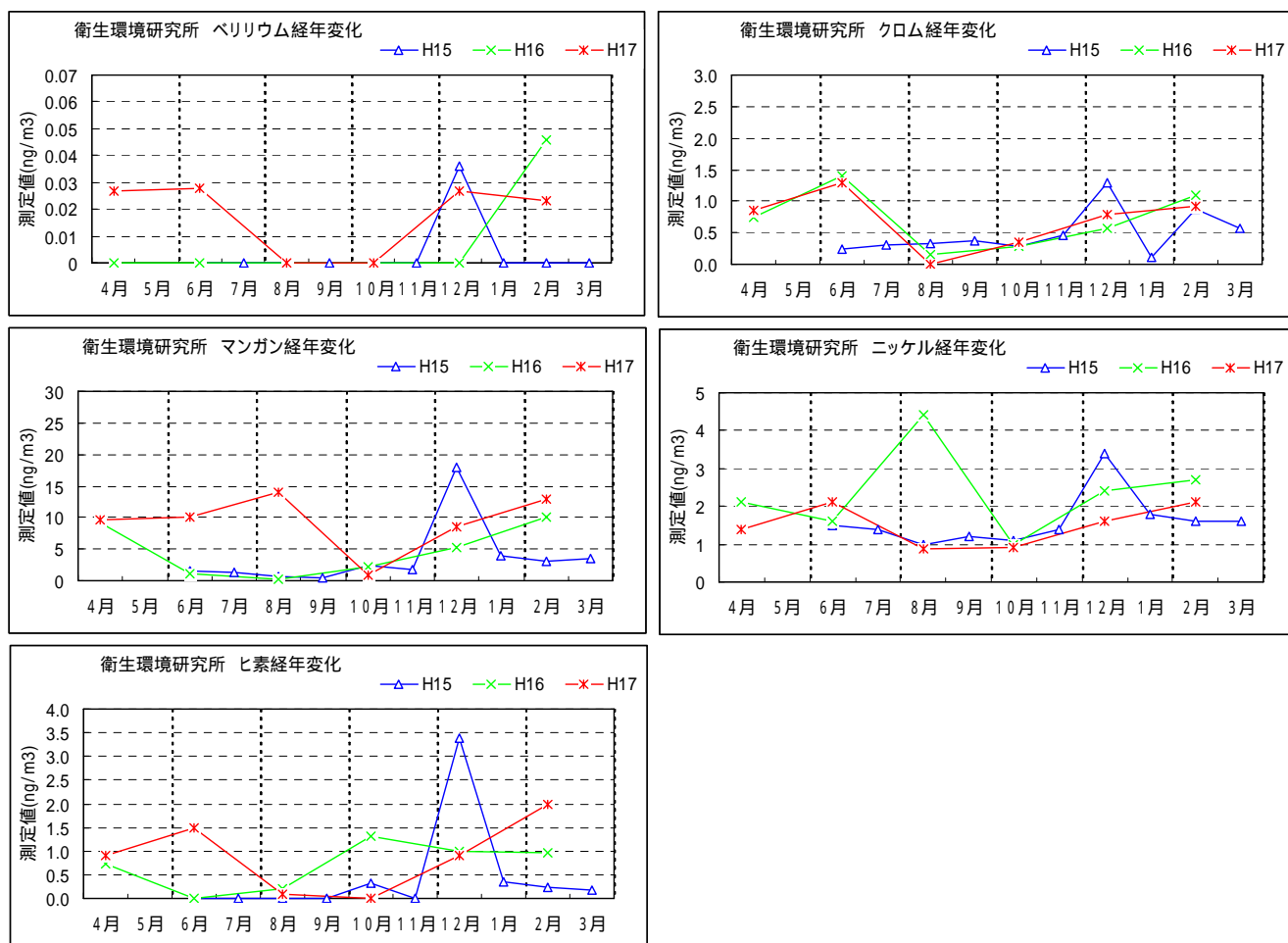
注：1. 黄砂観測日は4/2、4/3、4/16、4/17、5/17、5/18、5/19、5/26、5/27
 2. 図中のグレーゾーンは定量下限値以下を示す。

図 5-8(4) 粒子状物質中の濃度 (Mg、Al、K、Ca、Fe)

2) 既存測定結果との比較（粒子状物質の有害金属）

自治体が発行している大気汚染調査結果のうち、沖縄県大里村、沖縄市の平成15年度から17年度調査結果を図5-9に示す。ベリリウムは 0.03 ng/m^3 前後、クロムは平成16,17年6月及び平成15年12月に高い濃度があるがその他は 0.5 ng/m^3 前後、マンガンは 10 ng/m^3 前後、ニッケルは平成16年に高い濃度があるがその他は 2 ng/m^3 前後、ヒ素は平成15年に高い濃度があるがその他は 1 ng/m^3 前後であった。

なお、調査時期は異なるが参考までに辺戸岬での測定結果をこれら既存の値と比較すると、ニッケルとヒ素は既存の測定結果の範囲内であったが、ベリリウム、クロム、マンガンは4,5月の測定結果において既存値より高い結果となった。



出典：環境省有害大気汚染マップ

図 5-9 粒子状物質の有害金属濃度の既存測定結果

3) 項目間の相関

自然由来成分間の相関係数を表 5-6 に示す。相関の強さから、自然由来成分は主に海塩由来の Na、Mg と、主に土壌由来の Al、K、Ca、Fe に二分された。また、有害金属類等と自然由来成分の相関係数は表 5-7 に示すとおりであり、Be、Cr、Mn、Co、Ba は土壌由来の Al、K、Ca、Fe と高い相関がみられた。

全項目間の相関は表 5-8 に示すとおりであり、有害金属類等の種類によって、項目間に強い相関のあることが確認された。また、図 5-8 に示した濃度変化のパターンを見ると、同時期にピークが現れている項目があり、ピークが現れた時期から、4つのグループに区分した。各グループの特徴は表 5-5 に示すとおりであり、グループ 1 からグループ 3 は、いずれも 4月から5月の春季にピークが現れている点で共通しているが、ピークの時期に一部違いがあり、グループ 2、グループ 3 では7月 23 日にもピークが見られた。

表 5-5 各測定項目のグループ区分

区分	測定項目	特徴
グループ 1	Be、Cr、Mn、Co、Ba、 Al、K、Ca、Fe	4/2、5/14 の週にピークが見られる。 各項目の相関係数は 86% 以上。
グループ 2	V、Ni	4/2、5/14、7/23 の週にピークが見られる。 相関係数は 91%。
グループ 3	Cu、Zn、As、Se、Cd、 Sn、Sb、Te、Tl、Pb	4/2～5/14、7/23 の週にピークが見られる。 各項目の相関係数は 68% 以上。
グループ 4	Mg、Na	濃度がほぼ一定で、3/5 の週にピークがある。 相関係数は 78%。

表 5-6 自然由来成分の相関係数

項目	粉塵量	Na	Mg	Al	K	Ca	Fe
粉塵量	1.00	-0.50	-0.34	0.34	0.16	0.27	0.40
Na	-	1.00	0.78	0.03	0.31	0.11	0.05
Mg	-	-	1.00	0.39	0.55	0.54	0.38
Al	-	-	-	1.00	0.92	0.94	1.00
K	-	-	-	-	1.00	0.87	0.94
Ca	-	-	-	-	-	1.00	0.92
Fe	-	-	-	-	-	-	1.00

表 5-7 自然由来成分と有害金属類等の相関係数

	粉塵量	Na	Mg	Al	K	Ca	Fe
Be	0.36	0.10	0.36	0.97	0.96	0.87	0.99
V	0.42	-0.22	-0.00	0.51	0.45	0.43	0.47
Cr	0.40	0.15	0.87	0.91	0.85	0.88	0.91
Mn	0.29	0.07	0.37	0.95	0.96	0.86	0.96
Co	0.49	-0.07	0.29	0.98	0.97	0.87	0.99
Ni	0.61	-0.12	0.32	0.53	0.45	0.51	0.46
Cu	0.43	-0.25	-0.05	0.60	0.60	0.51	0.59
Zn	0.54	-0.16	0.15	0.57	0.58	0.58	0.56
As	0.27	-0.06	0.21	0.64	0.72	0.59	0.64
Se	0.27	-0.09	0.16	0.56	0.62	0.54	0.53
Cd	0.37	-0.11	0.17	0.63	0.69	0.61	0.63
Sn	0.57	-0.29	-0.04	0.55	0.52	0.50	0.55
Sb	0.48	-0.14	0.07	0.44	0.50	0.43	0.43
Te	0.61	-0.28	-0.09	0.36	0.34	0.39	0.34
Ba	0.34	0.10	0.37	0.97	0.95	0.88	0.98
Tl	0.50	-0.08	0.11	0.69	0.73	0.67	0.70
Pb	0.30	-0.11	0.17	0.65	0.70	0.62	0.64

網掛け	相関係数
なし	R<0.4
	0.4 R<0.7
	R 0.7

表 5-8 全項目間の相関係数

項目	Be	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Sn	Sb	Te	Ba	Tl	Pb	Na	Mg	Al	K	Ca	Fe	粉塵量
Be	1.00	0.51	0.87	0.98	1.00	0.50	0.65	0.59	0.72	0.61	0.68	0.58	0.50	0.37	0.99	0.73	0.69	0.10	0.36	0.97	0.96	0.87	0.99	0.36
V	-	1.00	0.26	0.57	0.42	0.91	0.87	0.67	0.67	0.67	0.53	0.84	0.62	0.54	0.48	0.46	0.63	-0.22	-0.00	0.51	0.45	0.43	0.47	0.42
Cr	-	-	1.00	0.87	0.98	0.38	0.38	0.59	0.74	0.47	0.72	0.46	0.52	0.38	0.89	0.65	0.56	0.15	0.87	0.91	0.85	0.88	0.91	0.40
Mn	-	-	-	1.00	0.98	0.54	0.71	0.67	0.82	0.72	0.79	0.65	0.62	0.49	0.98	0.82	0.80	0.07	0.37	0.95	0.96	0.86	0.96	0.29
Co	-	-	-	-	1.00	0.34	0.61	0.54	0.64	0.49	0.62	0.52	0.37	0.33	0.99	0.74	0.61	-0.07	0.29	0.98	0.97	0.87	0.99	0.49
Ni	-	-	-	-	-	1.00	0.85	0.65	0.68	0.69	0.53	0.84	0.78	0.69	0.48	0.30	0.62	-0.12	0.32	0.53	0.45	0.51	0.46	0.61
Cu	-	-	-	-	-	-	1.00	0.89	0.84	0.85	0.74	0.96	0.74	0.68	0.61	0.75	0.82	-0.25	-0.05	0.60	0.60	0.51	0.59	0.43
Zn	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.90	0.94	0.89	0.97	0.84	0.85	0.55	0.90	0.92	-0.16	0.15	0.57	0.58	0.58	0.56	0.54
As	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.96	0.96	0.85	0.89	0.87	0.69	0.94	0.97	-0.06	0.21	0.64	0.72	0.59	0.64	0.27
Se	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.93	0.89	0.91	0.90	0.58	0.92	0.97	-0.09	0.16	0.56	0.62	0.54	0.53	0.27
Cd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.81	0.88	0.85	0.67	0.94	0.98	-0.11	0.17	0.63	0.69	0.61	0.63	0.37
Sn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.82	0.80	0.54	0.80	0.86	-0.29	-0.04	0.55	0.52	0.50	0.55	0.57
Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.97	0.46	0.79	0.93	-0.14	0.07	0.44	0.50	0.43	0.43	0.48
Te	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.34	0.79	0.92	-0.28	-0.09	0.36	0.34	0.39	0.34	0.61
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.72	0.68	0.10	0.37	0.97	0.95	0.88	0.98	0.34
Tl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.96	-0.08	0.11	0.69	0.73	0.67	0.70	0.50
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-0.11	0.17	0.65	0.70	0.62	0.64	0.30
Na	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.78	0.03	0.31	0.11	0.05	-0.50
Mg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.39	0.55	0.54	0.38	-0.34
Al	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.92	0.94	1.00	0.34
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.87	0.94	0.16
Ca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.92	0.27
Fe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.40
粉塵量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00

網掛け	相関係数
なし	R<0.4
	0.4 R<0.7
	R 0.7

4) 大気塊の由来解析（事例解析）

有害金属類等の濃度にピークが現れた以下の週を事例として、後方流跡計算を行い、大気塊の起源を推定した。

（計算時期） 平成 19 年 4 月 2～9 日

平成 19 年 4 月 9～16 日

平成 19 年 4 月 30～5 月 7 日

平成 19 年 5 月 14～21 日

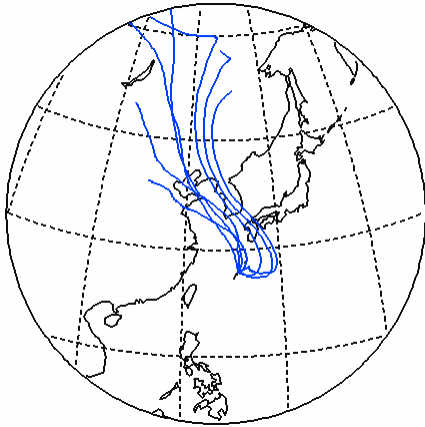
平成 19 年 7 月 23～30 日

後方流跡計算結果は図 5-10 に示すとおりである。

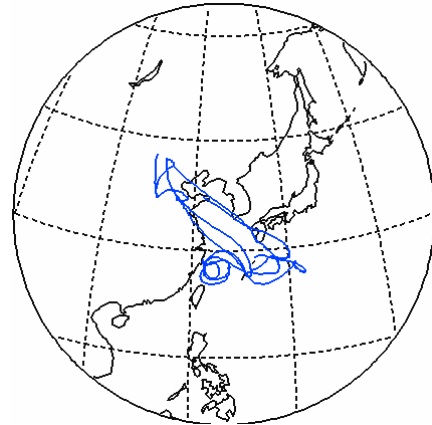
4 月 2 日から 9 日は主に大陸性の気塊が起源となり、その一部は九州南部上空を通過して辺戸岬に到達していた。また、4 月 9 日から 16 日、4 月 30 日から 5 月 7 日及び 5 月 14 日から 21 日は、大陸性の気塊と海洋性の気塊が起源となり、両方からの寄与を受けていたと推定され、7 月 23 日から 30 日は気塊の移動は少なく、主に九州南部からの気塊が起源であったと推定された。

本調査結果は、春季から夏季の限られた期間ではあるが、春季の黄砂観測時に濃度が高くなるなど、大陸からの気塊による影響をおおむね把握できたものと考えられる。今後は、モニタリングを継続してデータの蓄積を図り、調査結果を踏まえ、バックグラウンド地域における粒子状物質中の有害金属類等の調査手法について検討する予定である。

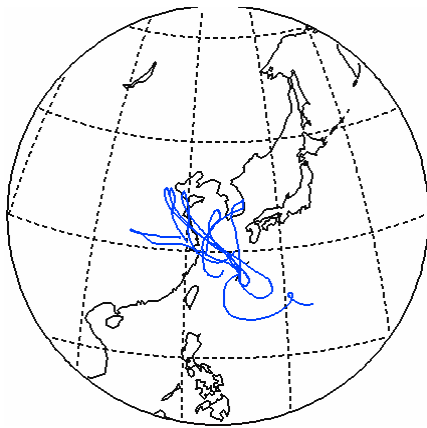
平成 19 年 4 月 2 ~ 9 日



平成 19 年 4 月 9 ~ 16 日



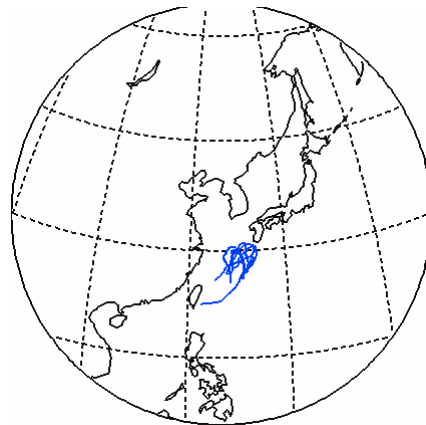
平成 19 年 4 月 30 ~ 5 月 7 日



平成 19 年 5 月 14 ~ 21 日



平成 19 年 7 月 23 ~ 30 日



計算の起点：辺戸岬上空 500m

流跡線の長さ：5 日間(120 時間)

計算間隔：1 時間

気象データ：米国の環境予測センター(NCEP)客観解析データ(6 時間間隔)

注) 国立環境研究所地球環境研究センターが開発した流跡線解析システム(CGEM-METEX)より作成

図 5-10 辺戸岬における後方流跡線計算結果