

平成31年度 大気中水銀バックグラウンド濃度等の モニタリング調査結果について

令和2年10月2日
環境省大臣官房環境保健部
環境保健企画管理課水銀対策推進室
環 境 安 全 課

目 次

1. 調査概要

2. 調査方法等

- (1) 調査地点
- (2) 調査項目、調査方法等
 - 1) 大気中水銀濃度の測定
 - 2) 降水中水銀濃度の測定
 - 3) 大気中の粒子状物質中の水銀以外の金属濃度の測定
- (3) 調査の検討体制

3. 調査結果の概要

- (1) 大気中水銀濃度
 - 1) 辺戸岬における平成31年度の調査結果の概要
 - 2) 辺戸岬における平成31年度と過年度の水銀濃度の比較
 - 3) 男鹿半島における平成31年度の調査結果の概要
 - 4) 男鹿半島における平成31年度と過年度の水銀濃度の比較
- (2) 降水中水銀濃度
 - 1) 辺戸岬における平成31年度の調査結果の概要
 - 2) 辺戸岬における平成31年度と過年度の降水中水銀濃度、湿性沈着量の比較
 - 3) 男鹿半島における平成31年度の調査結果の概要
 - 4) 男鹿半島における平成31年度と過年度の降水中水銀濃度、湿性沈着量の比較
- (3) 大気中の粒子状物質中の水銀以外の金属濃度の測定
 - 1) 辺戸岬における平成31年度の調査結果の概要
 - 2) 辺戸岬における平成31年度と過年度の金属濃度の比較

4. 今後の対応

- (参考1) 平成30年度有害大気汚染物質モニタリング調査結果と本調査の結果の比較
- (参考2) 有害大気汚染物質測定方法マニュアルによる測定と本調査の方法による測定結果の比較
- (参考3) 降水中水銀分析手順の違いによる測定結果の検討

1. 調査概要

環境省では、国内外の水銀対策に資することを目的として、国内の発生源による影響を直接受けにくい沖縄県の辺戸岬において、平成 19 年度より大気中の水銀濃度（バックグラウンド濃度）等に関するモニタリング調査を行い、平成 22 年度以降は、毎年その結果を公表している。また、平成 26 年 8 月からは、秋田県の男鹿半島においてもモニタリング調査を実施してきた。

本調査結果は、平成 31 年度の辺戸岬と男鹿半島における調査結果を、過年度の調査結果と併せてとりまとめたものである。

2. 調査方法等

(1) 調査地点

- ・沖縄県：辺戸岬

国立研究開発法人 国立環境研究所 辺戸岬 大気・エアロゾル観測ステーション
(沖縄県国頭郡国頭村大字宜名真字長根原 1000)

- ・秋田県：男鹿半島

秋田県 大気汚染常時監視測定局 船川測定局 隣接地
(秋田県男鹿市船川港船川字泉台 3-2)



図 1 調査地点の位置

(2) 調査項目、調査方法等

調査項目及び調査方法等を表 1 に示す。

1) 大気中水銀濃度の測定

大気中の水銀には多くの種類（形態）が存在し、その大部分を占める元素状水銀（金属水銀）のほか、酸化態水銀、粒子状態で浮遊する水銀（粒子状水銀）等の形態がある。こうした様々な形態の水銀は、大気中において異なる挙動を示すことが知られており、金属水銀は大気中に長時間にわたって滞留する一方で、酸化態水銀及び粒子状水銀は降水などを通じて地上に沈着しやすく、大気沈着において大きな割合を占めることが知られている。

本調査では、国際的な水銀の排出状況及び濃度レベルの推移、それらが我が国の環境に及ぼす影響の把握等に資することを目的に、国内のバックグラウンド地点（辺戸岬及び男鹿半島）において、ガス状で存在する金属水銀、酸化態水銀、及び粒子状水銀の濃度と、降水中の総水銀濃度について測定を実施してきた。併せて、辺戸岬においては大気中水銀濃度や降水中水銀濃度の変化傾向を把握するため、大気中粒子状物質中の水銀以外の金属類等についても測定を行っている（表1）。

測定は、短時間の水銀濃度の変化を化学形態別に精度良く測定できる装置で、国際的に広く利用されている Tekran 社（カナダ）製の形態別水銀連続測定装置により行った（表2）。

なお、この本調査における測定の方法は、環境省が実施している大気汚染防止法に基づく有害大気汚染物質モニタリング調査における「有害大気汚染物質測定方法マニュアル」（平成23年3月 環境省）に従った方法とは異なる。このため、平成20年度に従来のマニュアルに従った方法と並行測定を行い、両者の測定値が良く一致していることを確認している（詳細は参考2参照）。

表1 調査項目、調査方法及び頻度

区分	調査項目		調査方法	測定頻度	測定地点
大気成分	ガス状	金属水銀	Tekran 社製形態別水銀連続測定装置により測定	連続測定（16回/日）	辺戸岬・男鹿半島
		酸化態水銀		連続測定（8回/日）	
	粒子状水銀			ローボリュウムエアサンプラーにより試料を採取し、「有害大気汚染物質測定方法マニュアル」（平成23年3月 環境省）に基づき、ICP/MSにより室内分析	週1回測定（7日間連続サンプリング）
大気成分	粒子状物質中のその他金属（有害17成分、指標6成分）*				
降水成分	降水中の水銀濃度		降水捕集装置により試料を採取し、米国環境保護庁（EPA）が定める Method 1631 に準じ水銀濃度を分析	週1回測定（7日間連続サンプリング）	辺戸岬・男鹿半島

注) 本調査における「金属水銀」とは、大気中にガス状で存在する水銀元素 (Hg^0) のことを指す。また、「酸化態水銀」は、大気中にガス状で存在する酸化された水銀 (Hg^{2+}) を、「粒子状水銀」は、大気中の粒子状物質に含まれる又は吸着している水銀を、それぞれ表している。

* 有害17成分と指標6成分は以下に示す通り。

有害17成分	ベリリウム (Be)、バナジウム (V)、クロム (Cr)、マンガン (Mn)、コバルト (Co)、ニッケル (Ni)、銅 (Cu)、亜鉛 (Zn)、ヒ素 (As)、セレン (Se)、カドミウム (Cd)、スズ (Sn)、アンチモン (Sb)、テルル (Te)、バリウム (Ba)、タリウム (Tl)、鉛 (Pb)
指標6成分	ナトリウム (Na)、マグネシウム (Mg)、アルミニウム (Al)、カリウム (K)、カルシウム (Ca)、鉄 (Fe)

表 2 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 2537 捕集部：Model 1130、Model 1135	
測定範囲	0.1～10,000 (ngHg/m ³)
検出限界	0.1 (ngHg/m ³) (7.5L サンプル)
流量	0.5～1.5 (L/min)
試料採取間隔	5～120 分 (ガス状(金属)：5 分、ガス状(酸化態)・粒子状：120 分)
測定方法	加熱気化－金アマルガム冷原子蛍光法
粒径特性	粒径 2.5μm 以下

2) 降水中水銀濃度の測定

本調査では、降水によって地表にもたらされる水銀の量をモニタリングするため、降水中の水銀について、濃度の測定を行った。

測定のための試料の採取に際しては、感雨計により自動的に降水試料のみを採取できる降水捕集装置を用いて連続採取を行った。また、水銀濃度の分析は、週 1 回の頻度で、所要の分析精度を確保するため、米国環境保護庁 (EPA) の Method 1631, Revision E に準じ、還元気化－金アマルガム－冷原子吸光分析法により行った。

平成 27 年度の有害金属モニタリング調査検討会において、分析手順における一塩化臭素の試料への添加タイミングが降水中水銀濃度の測定値に影響する可能性が指摘された。確認のため、平成 28 年 2 月から平成 29 年 2 月までの 1 年間、一塩化臭素添加のタイミングの異なる 2 つの手順による測定値の比較観測を実施した。(結果は「参考 3」参照。) 比較観測結果を検討会に諮り、より真値に近い値が得られていると考えられる新しい手順を平成 28 年度以降採用することとした。分析手順が変更されることにより、平成 27 年度までと平成 28 年度以降とで統計的に不連続となることに留意が必要である。

なお、降水の分析は、分析精度上、十分な試料が得られた週のみを対象に行った。また、装置に関しては、週 1 回、点検、洗浄及び動作確認を行った。

3) 大気中の粒子状物質中の水銀以外の金属濃度の測定

本調査では、大気中水銀濃度や降水中水銀濃度の変化傾向を確認するための指標として、大気中粒子状物質中の水銀以外の有害金属類等の測定を行った (表 1)。

ローボリュームエアサンプラーを用いて大気中の粒子状物質を採取し、「有害大気汚染物質測定方法マニュアル」(平成 23 年 3 月 環境省) に基づき、ICP/MS により室内分析を行った。試料の採取時間は 7 日間連続とし、1 回/週の頻度でフィルター交換を実施した。

(3) 調査の検討体制

調査の計画・実施に当たっては、専門家から構成する「水俣条約に資する水銀等モ

モニタリングに関する国内検討会」(鈴木規之委員長(国立研究開発法人 国立環境研究所))を設置し、調査手法等について検討・助言を受けるとともに、調査結果の評価等を行った。

表3 「平成31年度水俣条約に資する水銀等モニタリングに関する国内検討会」委員

氏名	所属・役職
河本 和明	長崎大学 大学院 水産・環境科学総合研究科 教授
坂本 峰至	環境省 国立水俣病総合研究センター 所長特任補佐
柴田 康行	国立研究開発法人 国立環境研究所 環境計測研究センター フェロー
鈴木 規之	国立研究開発法人 国立環境研究所 環境リスク・健康研究センター センター長 (※委員長)
高見 昭憲	国立研究開発法人 国立環境研究所 地域環境研究センター センター長
武内 章記	国立研究開発法人 国立環境研究所 環境計測研究センター 基盤計測化学研究室 主任研究員
仲井 邦彦	東北大学 大学院医学系研究科 環境遺伝医学総合研究センター 教授
福崎 紀夫	新潟工科大学 非常勤講師 (元 新潟工科大学 工学部 工学科 建築・都市環境学系 教授)
丸本 幸治	環境省 国立水俣病総合研究センター 環境・疫学研究部 環境化学研究室 室長
溝畑 朗	大阪府立大学名誉教授

(五十音順)

3. 調査結果の概要

(1) 大気中水銀濃度

形態別水銀連続測定装置を用いて、大気中の形態別水銀濃度を測定した。測定結果の概要は以下のとおり。

1) 辺戸岬における平成31年度の調査結果の概要

- ・大気中の形態別水銀濃度の合計の年平均値は 1.7 ngHg/m³、月平均値の範囲は 1.5~1.8 ngHg/m³、1時間毎の測定値の範囲は 1.2~8.3 ngHg/m³であった。環境中の有害大気汚染物質による健康リスクの低減を図るための指針となる数値(指針値。年平均値 40 ngHg/m³)を十分下回る値であった。(表4、図2)
- ・大気中の水銀は、そのほとんどが金属水銀であり、酸化態水銀及び粒子状水銀は、平均で1%未満であった。(表4) なお、酸化態水銀濃度が最も高い時(0.058 ngHg/m³)の、酸化態水銀濃度の占める比率は2.8%、また、粒子状水銀濃度が最

も高い時 (0.054 ngHg/m³) の、粒子状水銀濃度の占める比率は 2.1%であった。

- 水銀濃度の平均値や範囲は調査時期によって異なり、水銀濃度は比較的短期間で変化していることが確認された。(図 2)
- 環境省水・大気環境局が実施している大気汚染防止法に基づく有害大気汚染物質モニタリング調査における平成 30 年度の一般環境の水銀濃度 (全国平均で 1.8 ngHg/m³) と比較して、本調査の結果は概ね同程度であった。(参考 1 参照)

※大気汚染防止法に基づいて行われている有害大気汚染物質モニタリング調査における水銀濃度のモニタリングと本調査では測定方法が異なる。(参考 2 参照)

表4 辺戸岬における大気中水銀濃度の測定結果（平成31年度）

測定項目	統計値	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	年間
金属水銀 (①) (ngHg/m ³)	平均値	1.8	1.8	1.7	1.5	1.5	1.5	1.7	1.7	1.8	1.8	1.7	1.8	1.7
	標準偏差	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3
	最小値	1.3	1.5	1.3	1.1	1.3	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.1
	最大値	3.7	2.6	3.0	3.4	1.8	1.9	2.9	2.6	4.7	3.3	6.5	8.3	8.3
	中央値	1.6	1.7	1.7	1.5	1.5	1.5	1.7	1.6	1.7	1.8	1.7	1.7	1.6
	データ数	447	477	422	432	260	309	430	459	417	477	443	476	5,049
酸化態水銀 (②) (ngHg/m ³)	平均値	0.001	0.004	0.001	0.002	<0.001	0.001	0.002	0.004	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002
	最小値	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	最大値	0.009	0.035	0.020	0.012	0.005	0.010	0.025	0.035	0.036	0.015	0.058	0.009	0.058
	中央値	<0.001	0.002	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	75%値	0.001	0.006	0.001	0.002	<0.001	0.001	0.003	0.004	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002
	検出率(%)	33.8	68.7	40.2	76.9	23.9	30.0	50.1	64.6	46.0	35.0	49.2	34.1	46.1
	データ数	441	473	174	182	251	303	427	455	413	474	439	464	4,496
粒子状水銀 (③) (ngHg/m ³)	平均値	0.002	0.003	0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002
	最小値	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	最大値	0.008	0.009	0.005	0.022	0.004	0.002	0.006	0.009	0.020	0.012	0.054	0.010	0.054
	中央値	0.001	0.002	0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	75%値	0.002	0.004	0.001	0.002	<0.001	<0.001	0.002	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003
	検出率(%)	62.4	81.0	56.3	56.0	19.5	23.1	71.2	77.1	81.6	90.3	87.2	78.7	70.0
	データ数	441	473	174	182	251	303	427	455	413	474	439	464	4,496
合計 (ngHg/m ³)	平均値	1.8	1.8	1.7	1.5	1.5	1.5	1.7	1.7	1.8	1.8	1.7	1.8	1.7
	標準偏差	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.5	0.4	0.3
	最小値	1.3	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.2
	最大値	3.7	2.6	3.0	3.4	1.7	1.9	2.9	2.6	4.7	3.3	6.5	8.3	8.3
	中央値	1.6	1.7	1.6	1.5	1.5	1.5	1.7	1.6	1.7	1.8	1.7	1.7	1.7
	データ数	441	473	174	182	251	303	427	455	413	474	439	464	4,496
月平均値の 構成比 (%)	①	99.8	99.6	99.9	99.8	99.9	99.9	99.8	99.7	99.7	99.8	99.7	99.8	99.8
	②	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	③	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1

注1) 最大値及び最小値は、それぞれの形態毎の測定値（測定頻度については表1参照）の月間の最大・最小値を表す。

また、合計は、金属水銀の測定値に、酸化態水銀及び粒子状水銀の測定値を合計することにより算出した。

(※それぞれの形態の測定頻度は異なるが、本調査では、次の測定値が出るまでの時間の濃度は、直後に測定された濃度と同一であるとみなし、合計を計算した。)

注2) 1 ng（ナノグラム）は10億分の1 g（グラム）にあたる。

注3) 測定の検出限界は金属水銀0.1 ngHg/m³、酸化態水銀及び粒子状水銀0.001 ngHg/m³であり、「<」は検出限界未満を示す。平均値の算出にあたり、検出限界未満の数値については検出限界の1/2として計算に用いた。なお、酸化態水銀及び粒子状水銀は、検出限界未満の測定値が多かったことから、参考として、75%値（測定値の低いほうから0.75×n番目（nはデータ数）の値）及び検出率（検出限界以上の測定値の割合）を示した。

注4) 金属水銀の統計値は、金属水銀の測定値全てを用いて求めており、酸化態水銀・粒子状水銀が欠測の際の測定値も含めて計算している。一方、合計値（総水銀）は、金属水銀、酸化態水銀、粒子状水銀の全てが揃った時間の測定値を用いて求めている。そのため、金属水銀の統計値と合計の統計値の大きさが整合しないことがある。

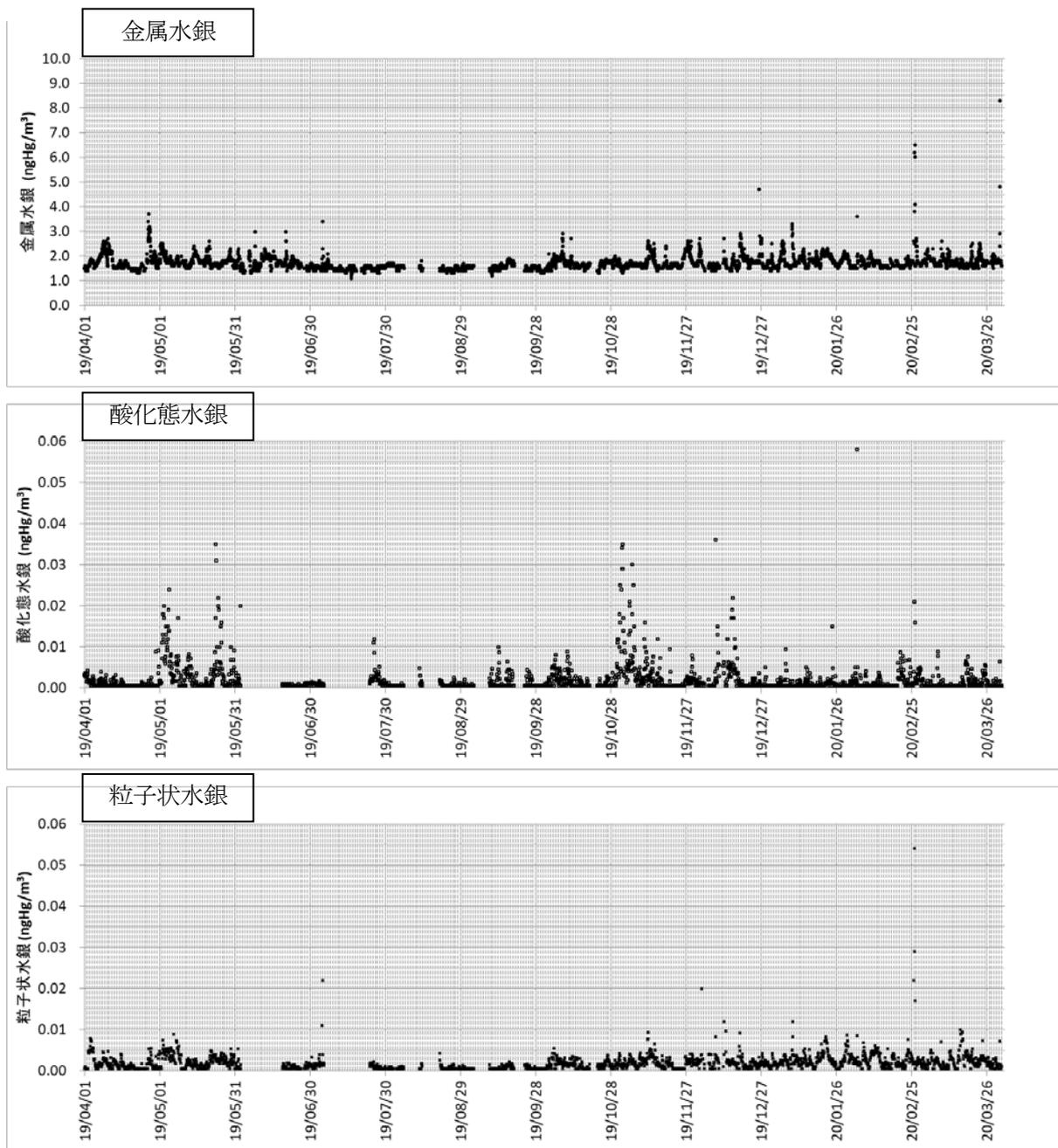


図2 辺戸岬における大気中形態別水銀濃度の測定結果（平成31年度）

2) 辺戸岬における平成 31 年度と過年度の水銀濃度の比較

- ・平成 31 年度の形態別水銀の合計の濃度及び形態別の水銀濃度の年平均値は昨年度と同程度の値であり、金属水銀濃度の年平均値は通年で測定を開始した平成 20 年度以降、形態別水銀の合計の濃度は平成 21 年度以降減少傾向を示しているが、平成 25 年度以降は概ね横ばいで推移している。(表 5)
- ・過年度の調査結果も含めて、形態別水銀の合計の濃度の年平均値及び最大値は、環境中の有害大気汚染物質による健康リスクの低減を図るための指針となる数値(指針値、年平均値 40 ngHg/m³)を常に下回っていた。(表 5、図 3)
- ・平成 21 年度までは試行調査段階であるため、調査日数が異なる等、調査結果の年度間の比較には注意が必要である。

表5 辺戸岬における大気中形態別水銀の年度別平均値、中央値及び範囲等の推移

測定項目	統計値	H19(2007) 年度	H20(2008) 年度	H21(2009) 年度	H22(2010) 年度	H23(2011) 年度	H24(2012) 年度	H25(2013) 年度	H26(2014) 年度	H27(2015) 年度	H28(2016) 年度	H29(2017) 年度	H30(2018) 年度	H31(2019) 年度
金属水銀 (GEM) (ng/m ³)	平均値	1.5	1.8	2.2	1.9	2.1	2.0	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.6	1.7
	標準偏差	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	1時間値最小値	0.8	1.0	1.5	1.2	1.1	1.3	0.9	1.2	1.0	1.2	1.0	1.1	1.1
	25%値	1.3	1.6	1.9	1.6	1.8	1.7	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5
	中央値	1.4	1.8	2.0	1.8	2.0	1.9	1.6	1.7	1.6	1.6	1.5	1.6	1.6
	75%値	1.6	2.0	2.3	2.1	2.4	2.2	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.8	1.8
	1時間値最大値	4.4	5.2	5.2	6.0	4.7	7.3	4.8	3.9	3.4	3.5	3.6	3.4	8.3
	時間数	1,934	2,722	4,840	5,382	5,132	4,569	5,348	5,200	4,661	5,159	4,954	5,164	5,049
酸化態水銀 (GOM) (ng/m ³)	平均値	—	—	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002
	検出率(%)	—	—	36.0	30.0	39.0	25.0	45.0	46.0	32.0	56.5	42.2	43.2	46.1
	1時間値最小値	—	—	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	25%値	—	—	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	中央値	—	—	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	75%値	—	—	0.002	0.001	0.002	<0.001	0.002	0.003	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002
	1時間値最大値	—	—	0.022	0.058	0.044	0.024	0.039	0.047	0.044	0.046	0.042	0.034	0.058
	時間数	—	—	2,485	5,273	5,023	4,239	5,222	5,084	4,480	4,639	4,900	4,689	4,496
粒子状水銀 (PBM) (ng/m ³)	平均値	—	—	0.002	0.002	0.002	0.002	0.004	0.004	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002
	検出率(%)	—	—	61.0	44.0	55.0	52.0	67.0	71.0	57.0	74.9	66.6	54.7	70.0
	1時間値最小値	—	—	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	25%値	—	—	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	中央値	—	—	0.001	<0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002
	75%値	—	—	0.003	0.003	0.003	0.003	0.005	0.006	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003
	1時間値最大値	—	—	0.039	0.048	0.041	0.027	0.071	0.044	0.020	0.030	0.025	0.015	0.054
	時間数	—	—	2,485	5,273	5,023	4,239	5,222	5,084	4,480	4,639	4,900	4,751	4,496
合計 (ng/m ³)	平均値	—	—	2.2	1.9	2.1	2.0	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.7
	標準偏差	—	—	0.4	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	1時間値最小値	—	—	1.5	1.2	1.1	1.3	0.9	1.2	1.0	1.2	1.0	1.1	1.2
	25%値	—	—	1.9	1.6	1.8	1.7	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5
	中央値	—	—	2.0	1.8	2.0	1.9	1.6	1.7	1.6	1.6	1.5	1.6	1.7
	75%値	—	—	2.3	2.1	2.4	2.2	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.8	1.8
	1時間値最大値	—	—	5.2	6.0	4.7	7.3	4.8	3.9	3.4	3.5	3.6	3.4	8.3
	時間数	—	—	4,840	5,382	5,132	4,569	5,348	5,084	4,480	4,639	4,900	4,689	4,496
構成比(%)	GEM	—	—	99.8	99.8	99.8	99.8	99.7	99.6	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8
	GOM	—	—	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	PBM	—	—	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

注) 平成19年度(2007年度)の金属水銀については、測定を開始した平成19年10月16日以降のデータの統計値である。

平成21年度(2009年度)の酸化態水銀、粒子状水銀については、形態別に測定を開始した平成21年10月1日以降のデータの統計値である。

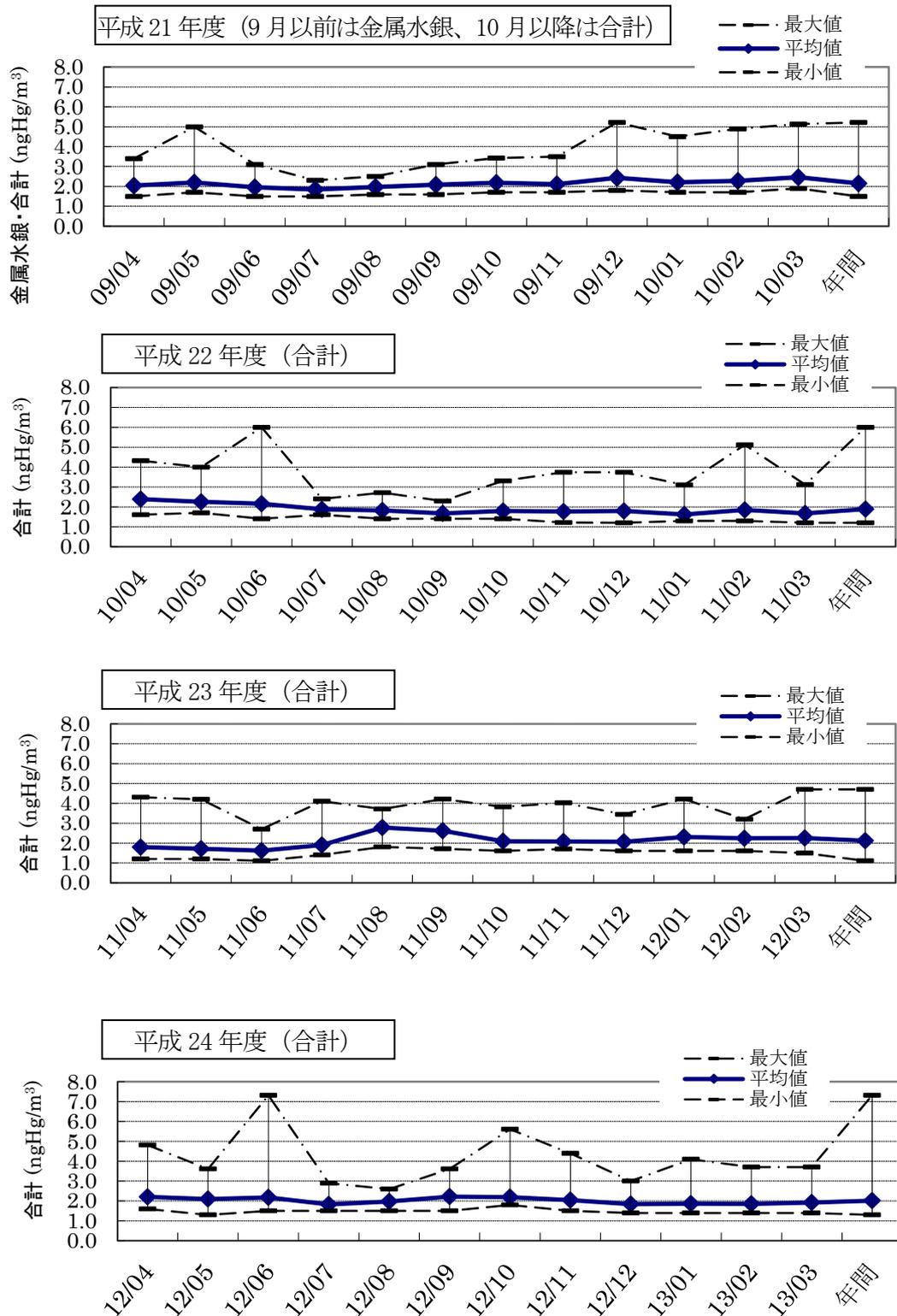


図 3(1) 辺戸岬における大気中水銀濃度の推移(月別平均値、範囲)

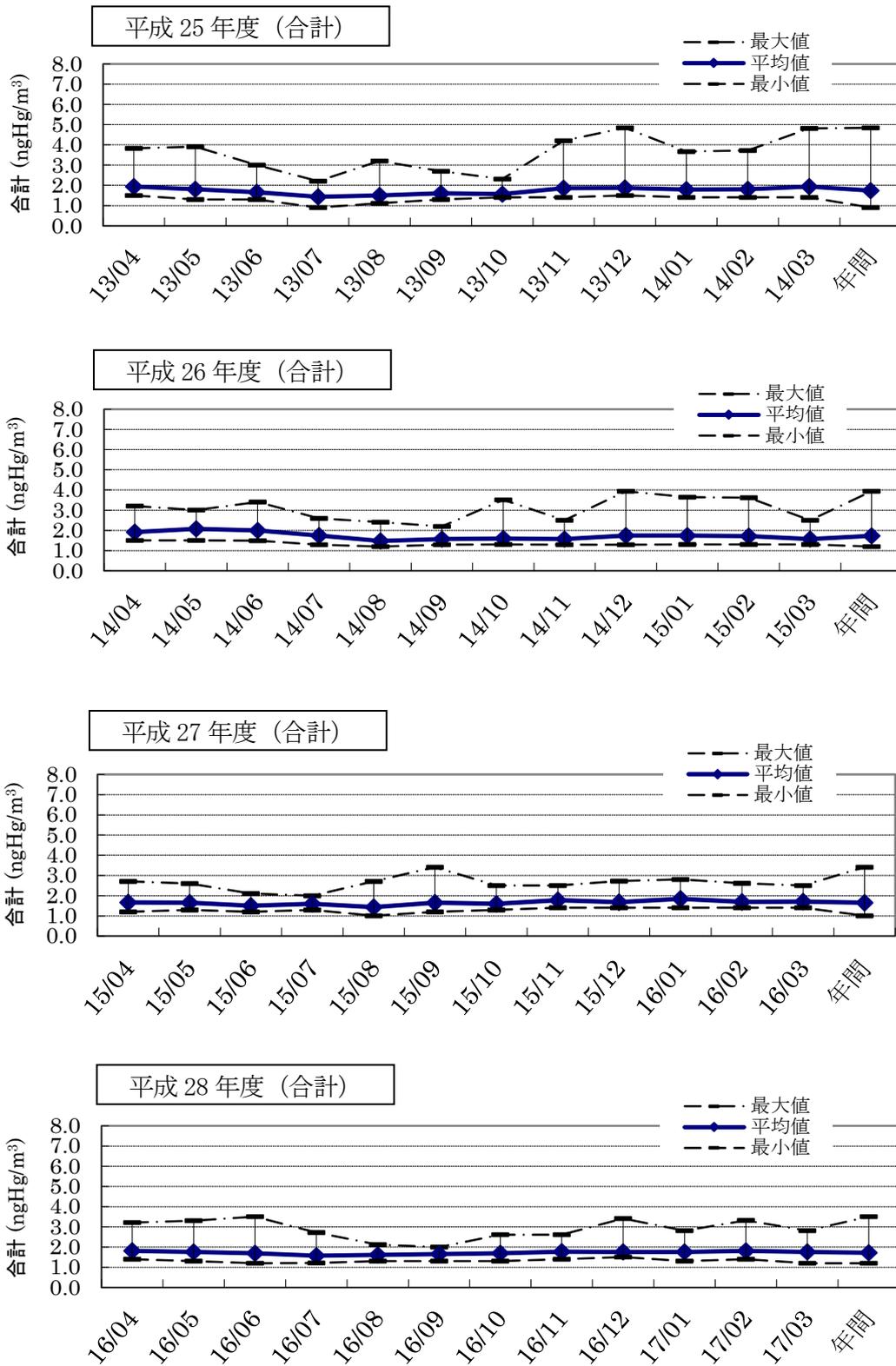


図 3(2) 辺戸岬における大気中水銀濃度の推移(月別平均値、範囲)

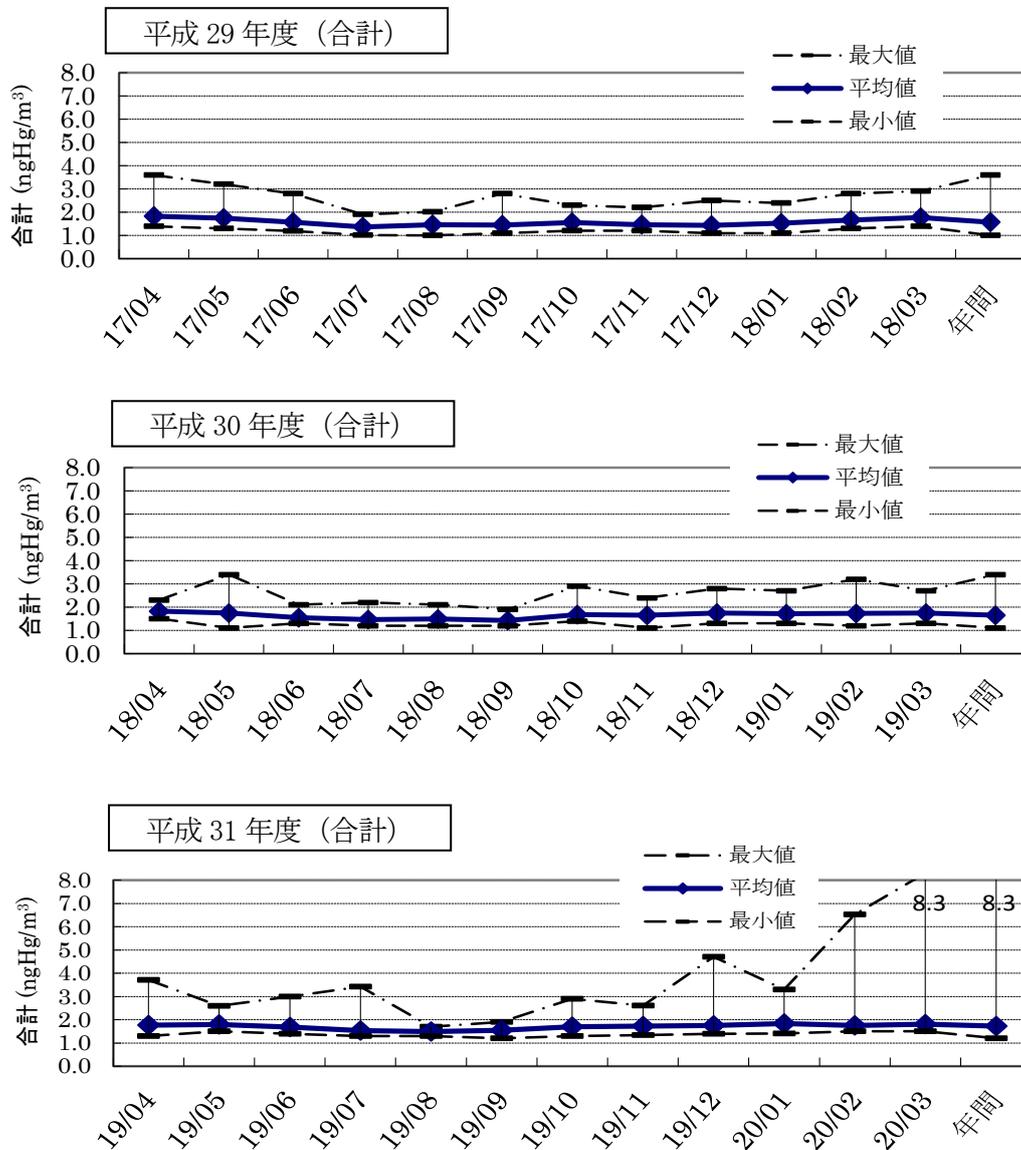


図 3(3) 辺戸岬における大気中水銀濃度の推移(月別平均値、範囲)

3) 男鹿半島における平成 31 年度の調査結果の概要

- 大気中の形態別水銀濃度の合計の年平均値は 1.5 ngHg/m³、月平均値の範囲は 1.3~1.7 ngHg/m³、1 時間毎の測定値の範囲は 0.8~11.2 ngHg/m³であった。これらは、環境中の有害大気汚染物質による健康リスクの低減を図るための指針となる数値（指針値。年平均値 40 ngHg/m³）を十分下回る値であった。（表 6、図 4）
- 辺戸岬における大気中の形態別水銀濃度の合計の測定値と比較すると、男鹿半島の年平均値は僅かに小さいが、最大値と 1 時間毎の測定値の変動の幅は男鹿半島の方が大きかった。
- 大気中の水銀は、そのほとんどが金属水銀であり、酸化態水銀及び粒子状水銀は、平均で 1%未満であった。（表 6）なお、酸化態水銀濃度が高い時（0.090 ngHg/m³）の、酸化態水銀濃度の占める比率は 4.8%、また、粒子状水銀濃度が高い時（0.235 ngHg/m³）の、粒子状水銀の占める比率は 7.7%であった。
- 水銀濃度の平均値や範囲は調査時期によって異なり、水銀濃度は比較的短期間で変化していることが確認された。（図 4）
- 環境省水・大気環境局が実施している大気汚染防止法に基づく有害大気汚染物質モニタリング調査における平成 30 年度の一般環境の水銀濃度（全国平均で 1.8 ngHg/m³）と比較して、本調査の結果はやや低かった。（参考 1 参照）

表6 男鹿半島における大気中水銀濃度の測定結果（平成31年度）

測定項目	統計値	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	年間
金属水銀 (①) (ngHg/m ³)	平均値	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5
	標準偏差	0.3	0.3	0.3	0.6	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3
	最小値	1.1	1.0	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.9	1.1	1.1	1.1	1.1	0.8
	最大値	3.1	3.3	5.4	11.1	3.3	3.0	2.9	2.6	2.7	2.5	3.8	3.3	11.1
	中央値	1.5	1.7	1.6	1.6	1.6	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5
	データ数	449	481	461	482	478	432	418	443	540	479	451	478	5,592
酸化態水銀 (②) (ngHg/m ³)	平均値	0.005	0.008	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	<0.001	0.002	0.001	0.002	0.003	0.002
	最小値	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	最大値	0.045	0.090	0.023	0.012	0.010	0.015	0.007	0.006	0.049	0.011	0.027	0.031	0.090
	中央値	0.002	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.002	0.001
	75%値	0.005	0.009	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	<0.001	0.001	0.002	0.002	0.003	0.002
	検出率(%)	80.3	93.2	41.5	49.5	28.6	45.4	27.9	13.6	35.9	49.6	59.2	69.9	50.1
	データ数	446	472	299	481	475	432	416	441	362	476	448	415	5,163
粒子状水銀 (③) (ngHg/m ³)	平均値	0.007	0.004	0.004	0.005	0.003	0.006	0.006	0.009	0.005	0.004	0.008	0.010	0.006
	最小値	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	最大値	0.028	0.047	0.059	0.235	0.026	0.069	0.087	0.078	0.099	0.025	0.113	0.080	0.235
	中央値	0.005	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.004	0.007	0.003	0.004	0.006	0.008	0.004
	75%値	0.009	0.004	0.003	0.003	0.003	0.006	0.006	0.010	0.005	0.006	0.009	0.012	0.007
	検出率(%)	88.3	86.9	73.9	76.3	70.1	95.8	96.2	99.1	97.2	90.3	97.3	99.6	89.4
	データ数	446	472	299	481	475	432	416	441	362	476	448	475	5,223
合計 (ngHg/m ³)	平均値	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5
	標準偏差	0.3	0.3	0.4	0.6	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3
	最小値	1.1	1.0	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.9	1.1	1.1	1.1	1.1	0.8
	最大値	3.1	3.3	5.4	11.2	3.3	3.1	2.9	2.7	2.7	2.5	3.8	3.4	11.2
	中央値	1.5	1.7	1.6	1.6	1.6	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5
	データ数	446	472	299	481	475	432	416	441	362	476	448	415	5,163
月平均値の 構成比 (%)	①	99.3	99.3	99.6	99.6	99.8	99.5	99.5	99.3	99.5	99.6	99.3	99.1	99.5
	②	0.3	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
	③	0.4	0.2	0.2	0.3	0.2	0.4	0.4	0.7	0.4	0.3	0.5	0.7	0.4

注1) 最大値及び最小値は、それぞれの形態毎の測定値（測定頻度については表1参照）の月間の最大・最小値を表す。

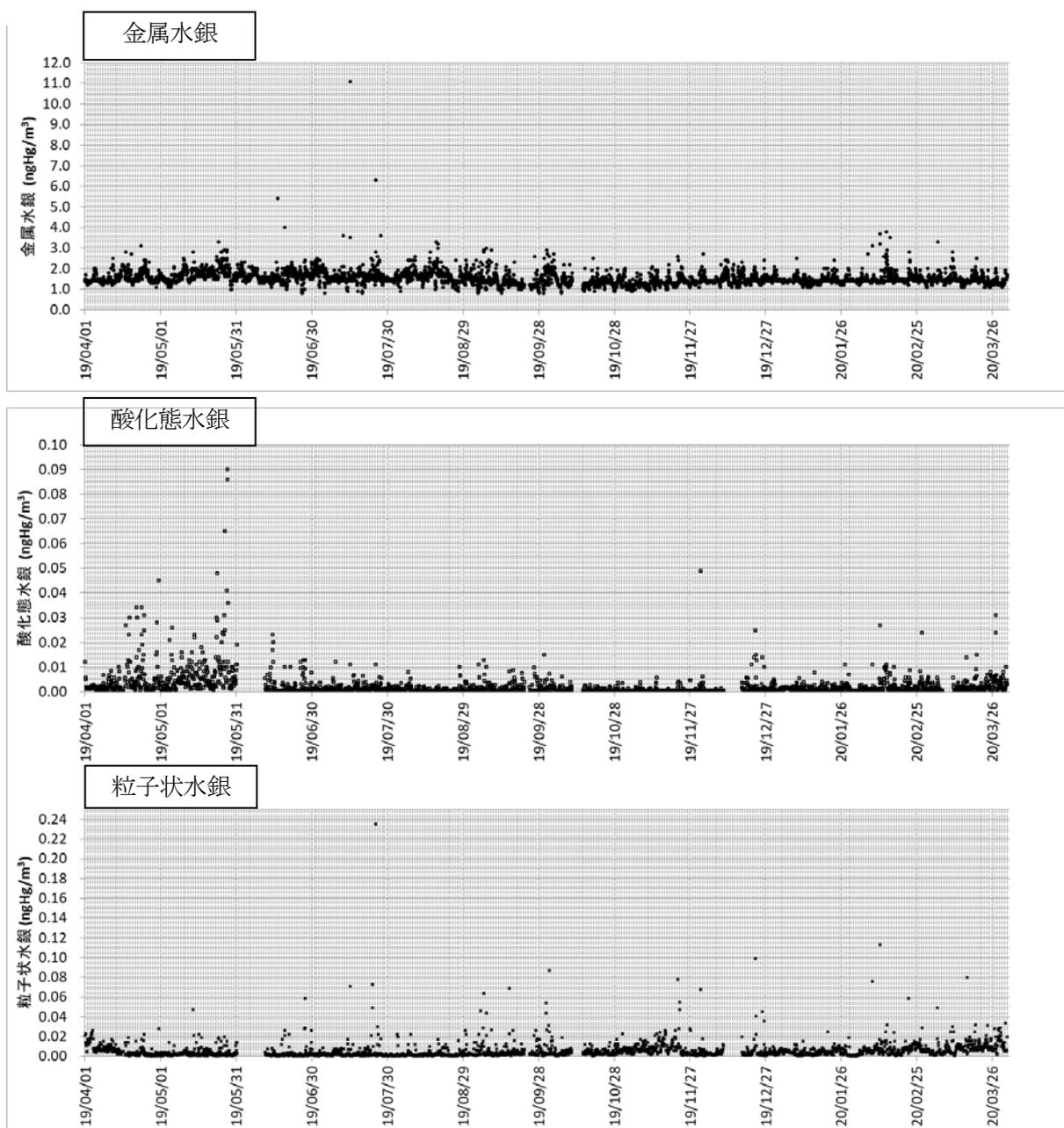
また、合計は、金属水銀の測定値に、酸化態水銀及び粒子状水銀の測定値を合計することにより算出した。

(※それぞれの形態の測定頻度は異なるが、本調査では、次の測定値が出るまでの時間の濃度は、直後に測定された濃度と同一であるとみなし、合計を計算した。)

注2) 1ng（ナノグラム）は10億分の1g（グラム）にあたる。

注3) 測定の検出限界は金属水銀0.1ngHg/m³、酸化態水銀及び粒子状水銀0.001ngHg/m³であり、「<」は検出限界未満を示す。平均値の算出にあたり、検出限界未満の数値については検出限界の1/2として計算に用いた。なお、酸化態水銀及び粒子状水銀は、検出限界未満の測定値が多かったことから、参考として、75%値（測定値の低いほうから0.75×n番目（nはデータ数）の値）及び検出率（検出限界以上の測定値の割合）を示した。

注4) 金属水銀の統計値は、金属水銀の測定値全てを用いて求めており、酸化態水銀・粒子状水銀が欠測の際の測定値も含めて計算している。一方、合計値（総水銀）は、金属水銀、酸化態水銀、粒子状水銀の全てが揃った時間の測定値を用いて求めている。そのため、金属水銀の統計値と合計の統計値の大きさが整合しないことがある。



注) 表 6 に示すとおり、粒子状水銀の最大値は 0.528ngHg/m³ を記録しているが、濃度変化の把握のため、ここでは粒子状水銀のグラフの縦軸の最大は 0.25ngHg/m³ として表示している。

図 4 男鹿半島における大気中形態別水銀濃度の測定結果（平成 31 年度）

4) 男鹿半島における平成 31 年度と過年度の水銀濃度の比較

- 平成 31 年度の水銀濃度の合計の濃度及び形態別の水銀濃度の年平均値は、いずれも若干昨年度よりも値が小さいものの、概ね昨年度と同程度の値であり、平成 26 年度以降概ね横ばいで推移した。(表 7)
- 過年度の調査結果も含めて、形態別水銀の合計の濃度の年平均値及び最大値は、環境中の有害大気汚染物質による健康リスクの低減を図るための指針となる数値(指針値。年平均値 40 ngHg/m³)を常に下回っていた。(表 7、図 5)
- 平成 26 年度は、調査日数が異なる等、調査結果の年度間の比較には注意が必要である。

表 7 男鹿半島における大気中形態別水銀の年度別平均値、中央値及び範囲等の推移

測定項目	統計値	平成 26 年度 (2014 年度)	平成 27 年度 (2015 年度)	平成 28 年度 (2016 年度)	平成 29 年度 (2017 年度)	平成 30 年度 (2018 年度)	平成 31 年度 (2019 年度)
金属水銀 (GEM) (ng/m ³)	平均値	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5
	標準偏差	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.3
	1 時間値最小値	0.9	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8
	25% 値	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3
	中央値	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5
	75% 値	1.7	1.8	1.7	1.7	1.8	1.7
	1 時間値最大値	6.7	21.8	20.2	14.2	19.7	11.1
	時間数	3,464	5,398	5,600	5,271	5,272	5,592
酸化態水銀 (GOM) (ng/m ³)	平均値	0.002	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002
	検出率(%)	50.0	53.0	47.9	51.4	64.7	50.1
	1 時間値最小値	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	25% 値	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	中央値	0.001	0.001	<0.001	0.001	0.001	0.001
	75% 値	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002
	1 時間値最大値	0.048	0.152	0.165	0.158	0.118	0.090
	時間数	3,016	5,327	5,569	5,172	4,771	5,163
粒子状水銀 (PBM) (ng/m ³)	平均値	0.009	0.009	0.011	0.009	0.008	0.006
	検出率(%)	91.0	92.0	95.9	90.7	90.1	89.4
	1 時間値最小値	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	25% 値	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002
	中央値	0.007	0.005	0.007	0.005	0.005	0.004
	75% 値	0.011	0.009	0.013	0.009	0.010	0.007
	1 時間値最大値	0.144	0.557	0.234	0.528	0.155	0.235
	時間数	3,016	5,327	5,569	5,172	4,771	5,223
合計 (ng/m ³)	平均値	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5
	標準偏差	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3
	1 時間値最小値	0.9	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8
	25% 値	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3
	中央値	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5
	75% 値	1.7	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7
	1 時間値最大値	6.7	21.8	20.3	14.2	19.9	11.2
	時間数	3,016	5,327	5,569	5,172	4,771	5,163
構成比(%)	GEM	99.3	99.2	99.2	99.3	99.4	99.5
	GOM	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
	PBM	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4

注) 平成 26 年度 (2014 年度) については、測定を開始した平成 26 年 8 月 8 日以降のデータの統計値である。

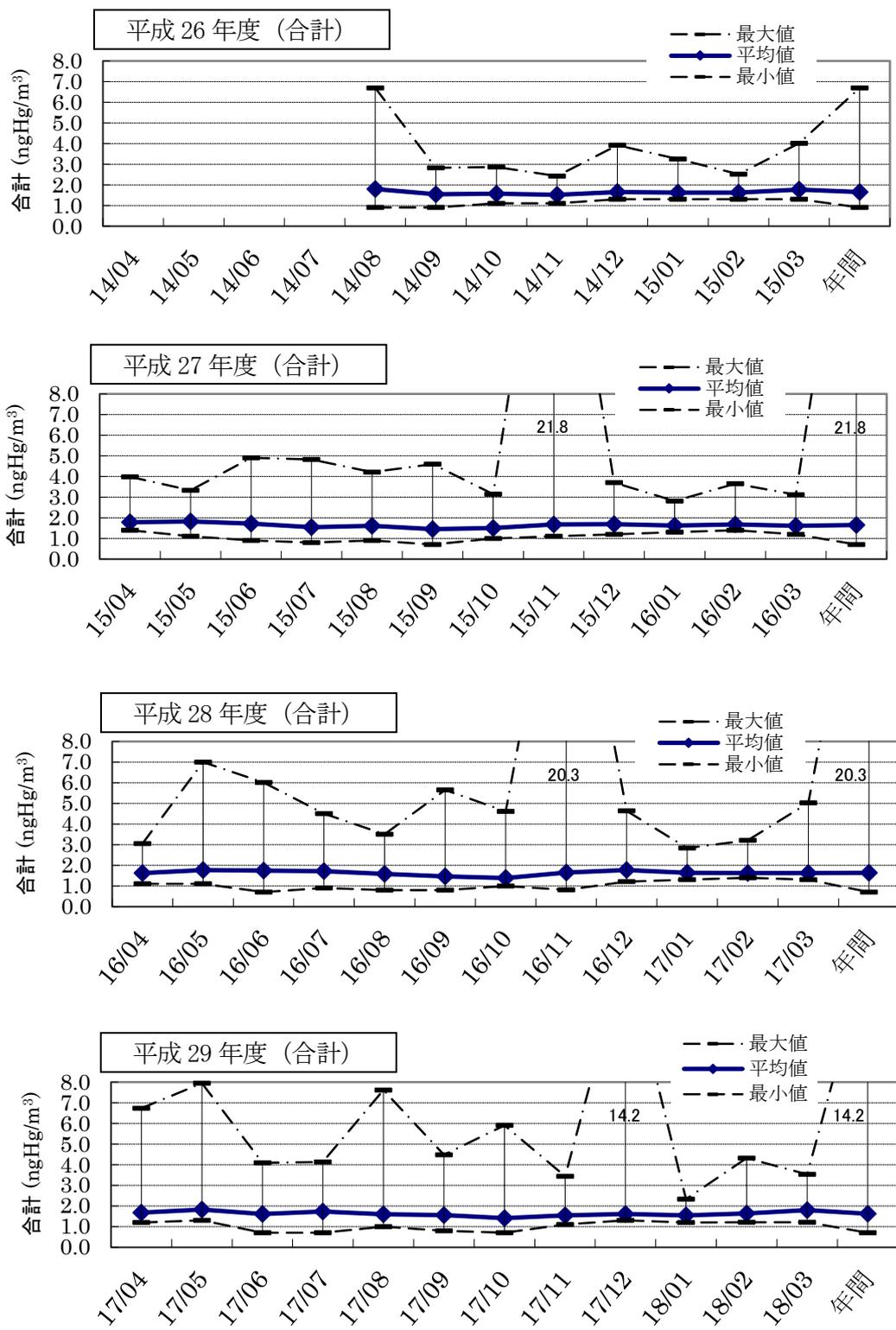


図5(1) 男鹿半島における大気中水銀濃度の推移(月別平均値、範囲)

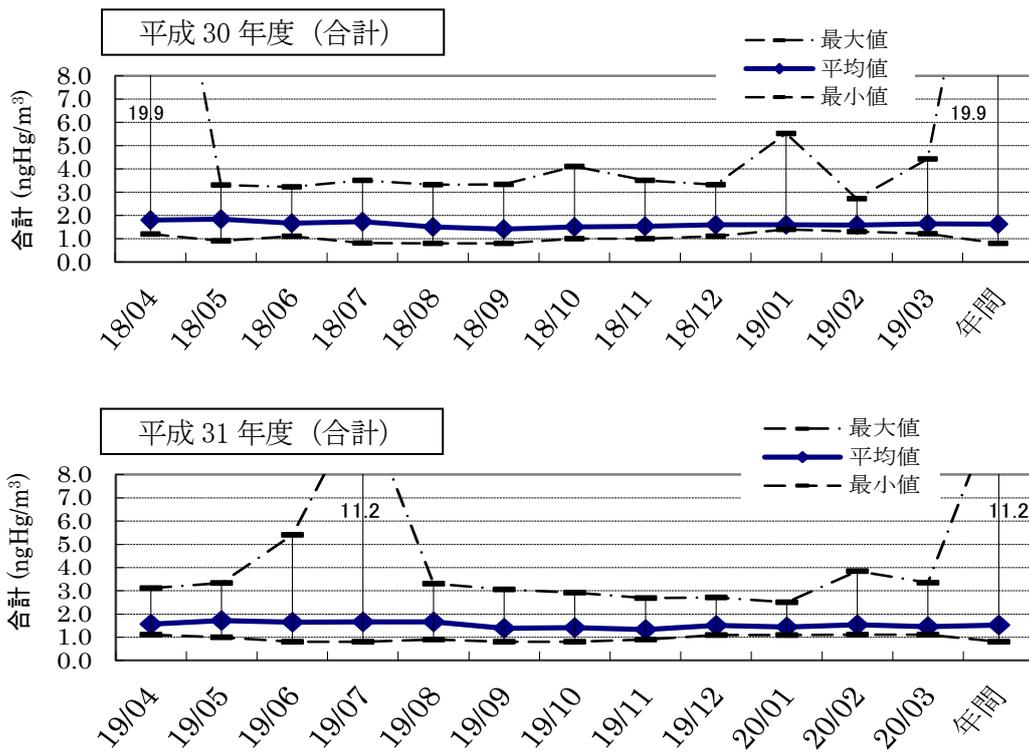


図 5(2) 男鹿半島における大気中水銀濃度の推移(月別平均値、範囲)

(2) 降水中水銀濃度

週 1 回の頻度で連続採取した降水を回収し、降水中の水銀濃度を測定するとともに、水銀濃度と降水量の積として湿性沈着量（降水によって地上にもたらされた水銀量）を求めた。測定結果の概要は以下のとおり。

なお、「2. 調査方法等」の「(2) 調査項目、調査方法等、2) 降水中水銀濃度の測定」に記載した通り、平成 28 年 2 月から平成 29 年 2 月まで実施した一年間の比較観測とその結果に対する有害金属モニタリング調査検討会での議論を踏まえ、平成 28 年度以降は新しい分析手順を採用することとした。（従来の分析手順と新分析手順の比較結果は、参考 3 参照）

1) 辺戸岬における平成 31 年度の調査結果の概要

- ・ 降水中水銀濃度の年平均値は 5.6 ngHg/L であった。測定値の範囲は 2.2~21.1 ngHg/L であった。降水中の水銀については指針値等が設定されていないが、参考として、水銀に関する水質汚濁に係る環境基準値 0.0005 mg/L (500 ngHg/L) と比較すると、十分低い値であった。（図 6、表 8）
- ・ 水銀の湿性沈着量は週毎の平均値で 327 ngHg/m² (0.327 μgHg/m²) であった。年間沈着量は 16.0 μgHg/m² であった。湿性沈着量については、比較できる基準値等はないが、国内 10 カ所の観測例（学術論文での報告※）によると、湿性沈着量は年間 5.8~18 μgHg/m² (平均 14 μgHg/m²) であり、これらの値と比較して、本調査の平成 31 年度の結果は同程度であった。

なお、降水中の水銀は、大気中の酸化態水銀及び粒子状水銀が降水に取り込まれたものが主と考えられる。このため、大気中の形態別水銀濃度の測定は、水銀の沈着量をより正しく理解するためにも重要である。

※ Estimating contribution of precipitation scavenging of atmospheric particulate mercury to mercury wet deposition in Japan, Masahiro Sakata and Kazuo Asakura, Atmospheric Environment Volume 41, Issue 8, March 2007, Pages 1669–1680.

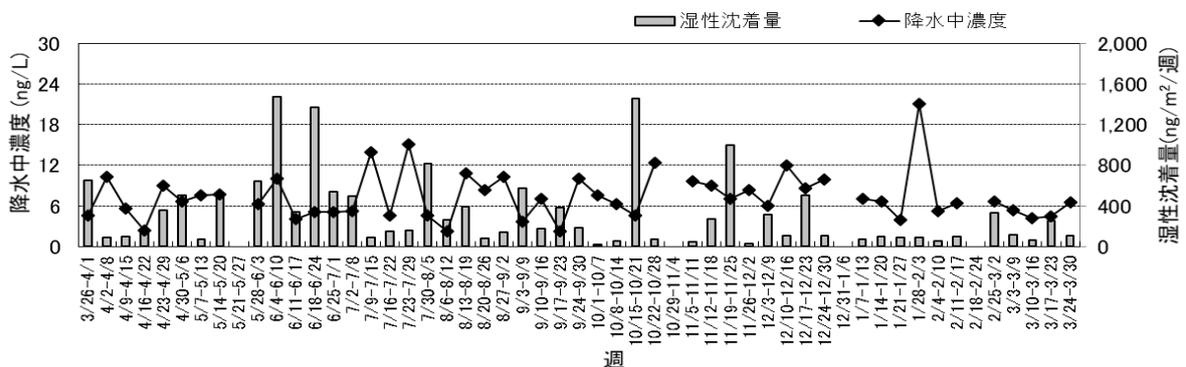


図 6 辺戸岬における降水中水銀濃度及び湿性沈着量（平成 31 年度）

表8 辺戸岬における降水中水銀濃度等の測定結果（平成31年度）

月・週	採取期間	降水中 水銀濃度 (ngHg/L)	水銀 湿性沈着量 (ngHg/m ² /週)	(参考) 採水量 (L/週)	(参考) 降水量換算 (mm/週)	備考
4月1週	3/26-4/1	4.6	655	1.6	142	
4月2週	4/2-4/8	10.3	86	0.1	8	
4月3週	4/9-4/15	5.6	96	0.2	17	
4月4週	4/16-4/22	2.4	155	0.7	65	
4月5週	4/23-4/29	9.0	361	0.5	40	
5月1週	4/30-5/6	6.7	502	0.8	75	
5月2週	5/7-5/13	7.6	72	0.1	9	
5月3週	5/14-5/20	7.7	505	0.7	66	
5月4週	5/21-5/27	-	-	-	-	降水量少ない、0mm/週
6月1週	5/28-6/3	6.2	641	1.2	103	
6月2週	6/4-6/10	10.0	1,472	1.7	147	
6月3週	6/11-6/17	4.0	341	1.0	85	
6月4週	6/18-6/24	5.1	1,370	3.0	269	
7月1週	6/25-7/1	5.1	541	1.2	106	
7月2週	7/2-7/8	5.2	492	1.1	95	
7月3週	7/9-7/15	13.9	90	0.1	6	
7月4週	7/16-7/22	4.6	149	0.4	32	
7月5週	7/23-7/29	15.1	156	0.1	10	
8月1週	7/30-8/5	4.6	813	2.0	177	
8月2週	8/6-8/12	2.2	266	1.4	121	
8月3週	8/13-8/19	10.8	391	0.4	36	
8月4週	8/20-8/26	8.3	80	0.1	10	
9月1週	8/27-9/2	10.3	138	0.2	13	
9月2週	9/3-9/9	3.7	570	1.7	154	
9月3週	9/10-9/16	7.0	174	0.3	25	
9月4週	9/17-9/23	2.3	385	1.9	167	
9月5週	9/24-9/30	10.0	186	0.2	19	
10月1週	10/1-10/7	7.5	19	0.0	2	
10月2週	10/8-10/14	6.3	53	0.1	8	
10月3週	10/15-10/21	4.6	1,452	3.6	316	
10月4週	10/22-10/28	12.3	74	0.1	6	
11月1週	10/29-11/4	-	-	-	-	降水量少ない、0mm/週
11月2週	11/5-11/11	9.6	47	0.1	5	
11月3週	11/12-11/18	9.0	273	0.3	30	
11月4週	11/19-11/25	7.1	1,000	1.6	141	
12月1週	11/26-12/2	8.4	25	0.0	3	
12月2週	12/3-12/9	6.0	318	0.6	53	
12月3週	12/10-12/16	12.0	107	0.1	9	
12月4週	12/17-12/23	8.6	500	0.7	58	
12月5週	12/24-12/30	9.9	110	0.1	11	
1月1週	12/31-1/6	-	-	-	-	降水量少ない、3.5mm/
1月2週	1/7-1/13	7.0	71	0.1	10	
1月3週	1/14-1/20	6.6	99	0.2	15	
1月4週	1/21-1/27	3.9	90	0.3	23	
2月1週	1/28-2/3	21.1	90	0.0	4	
2月2週	2/4-2/10	5.2	53	0.1	10	
2月3週	2/11-2/17	6.4	94	0.2	15	
2月4週	2/18-2/24	-	-	-	-	降水なし
3月1週	2/25-3/2	6.7	334	0.6	50	
3月2週	3/3-3/9	5.4	118	0.2	22	
3月3週	3/10-3/16	4.2	61	0.2	15	
3月4週	3/17-3/23	4.5	250	0.6	56	
3月5週	3/24-3/30	6.5	106	0.2	16	
全期間	平均値	5.6	327	0.7	59	単純平均濃度 7.4ng/L
	最小値	2.2	19	0.0	2	年間沈着量 16.0μg/m ² /年
	最大値	21.1	1,472	3.6	316	

2) 辺戸岬における平成 31 年度と過年度の降水中水銀濃度、湿性沈着量の比較

- ・平成 31 年度の降水中水銀濃度の年平均値は 5.6 ngHg/L であり、平成 28 年度～平成 30 年度の測定値の範囲内の値でした。（表 9、図 7）
- ・平成 31 年度の湿性沈着量の平均値は 327 ngHg/m²/週であり、平成 28～30 年度に比べてやや大きい値であった。（表 9）

表 9 辺戸岬における降水中水銀濃度及び湿性沈着量の年度別調査結果の概要

調査時期	水銀濃度(ngHg/L)			湿性沈着量(ngHg/m ² /週)			年間湿性沈着量 (µgHg/m ² /年)
	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	
平成 28 年度	6.6	2.7	19.4	220	0 (22)	1,304	11.2
平成 29 年度	4.8	1.1	20.4	208	0 (19)	1,667	8.9
平成 30 年度	3.9	1.2	14.8	247	0 (24)	1,786	11.9
平成 31 年度	5.6	2.2	21.1	327	0 (19)	1,472	16.0

(参考 従来の手順による辺戸岬における降水中水銀濃度の年度別測定結果)

調査時期	水銀濃度(ngHg/L)			湿性沈着量(ngHg/m ² /週)			年間湿性沈着量 (µgHg/m ² /年)
	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	
平成 20 年度	3.4	0.4	15.7	122	0 (11)	864	6.1
平成 21 年度	3.1	0.7	17.5	120	0 (16)	589	6.2
平成 22 年度	2.4	0.9	11.9	105	0 (11)	760	5.3
平成 23 年度	3.0	0.6	10.9	83	0 (2)	1,205	4.2
平成 24 年度	1.9	0.7	10.1	75	0 (4)	384	3.9
平成 25 年度	2.2	0.5	12.3	67	0 (4)	511	3.4
平成 26 年度	1.4	0.2	3.8	69	0 (0)	468	3.5
平成 27 年度	2.0	0.6	5.2	104	0 (1)	748	4.6
平成 28 年度	4.3	1.8	16.1	194	0 (21)	1,082	7.4

注 1) 湿性沈着量の最小値欄の 0 は、無降水の時の沈着量であり、かっこ内の数字は降水サンプル分析時の最も小さい沈着量の値を示している。

注 2) 新手順による測定値は、比較試験の結果、従来手順による測定値に比べ 1.3～1.4 倍程度高い値となっていることが確認されている。

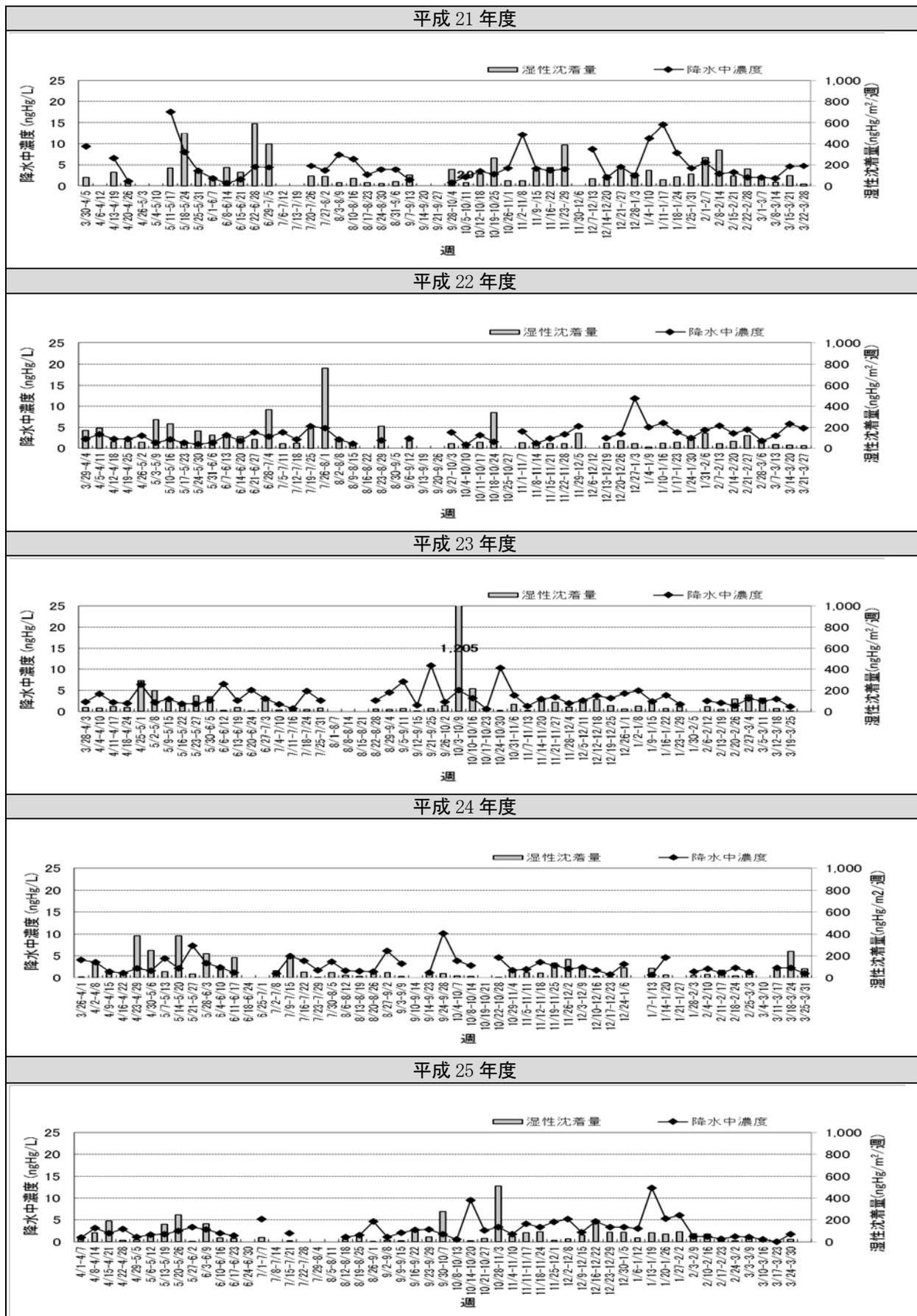


図 7(1) 辺戸岬における降水中水銀濃度及び湿性沈着量の推移

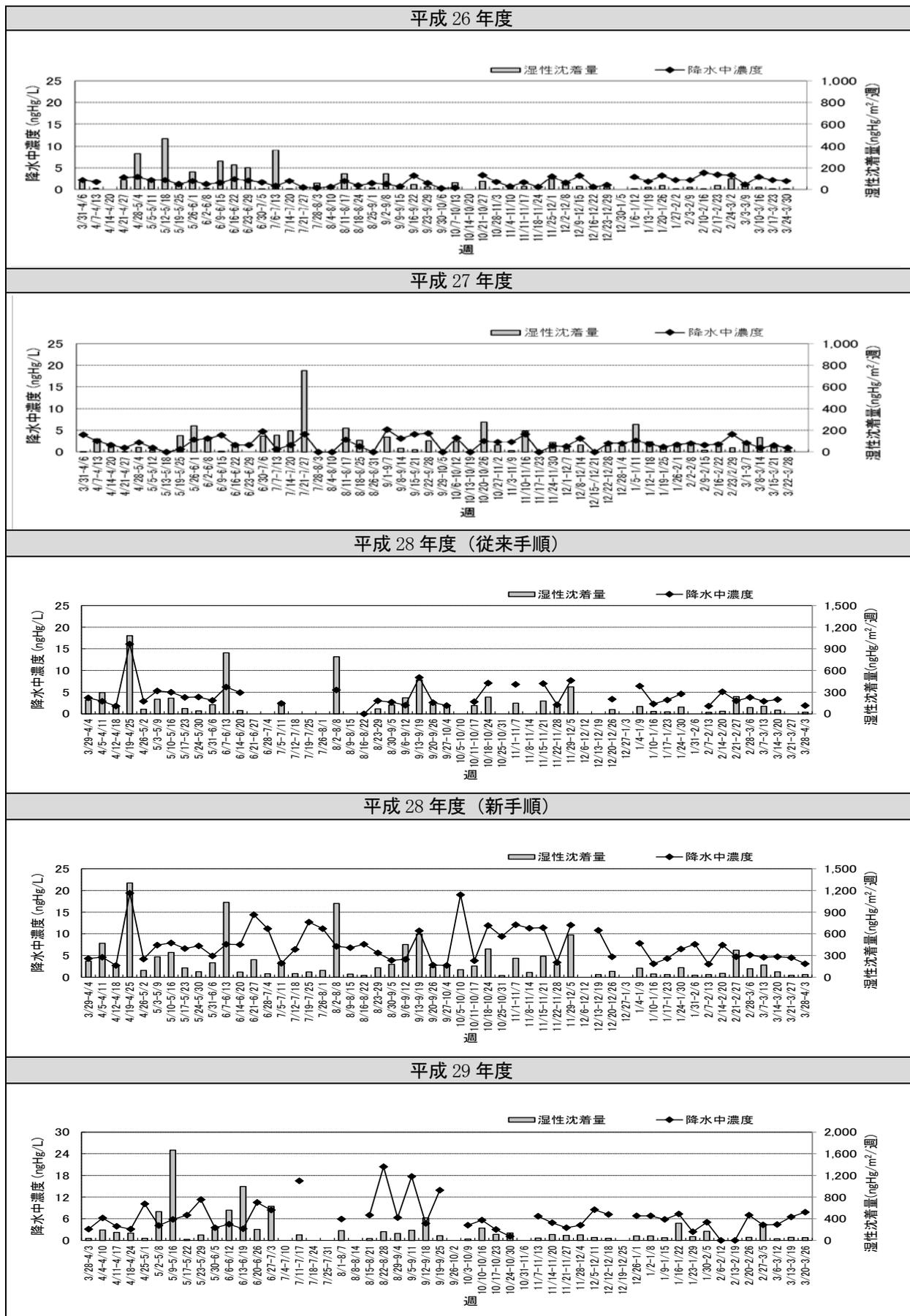


図 7(2) 辺戸岬における降水中水銀濃度及び湿性沈着量の推移

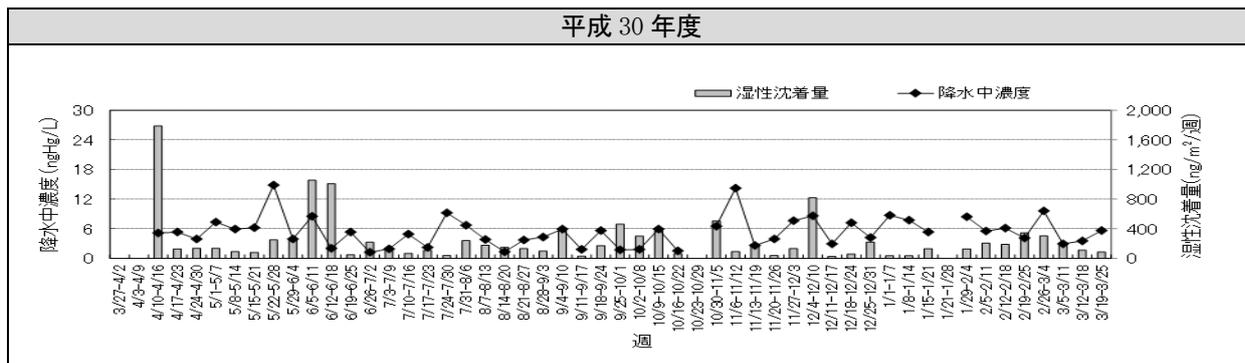


図 7(3) 辺戸岬における降水中水銀濃度及び湿性沈着量の推移

3) 男鹿半島における平成 31 年度の調査結果の概要

- ・ 降水中水銀濃度の年平均値は 6.0 ngHg/L であった。測定値の範囲は 2.1~62.1 ngHg/L であった。降水中の水銀については指針値等が設定されていないが、参考として、水銀に関する水道水の水質基準値である 0.0005 mgHg/L (500 ngHg/L) と比較すると、十分低い値であった。(図 8、表 10)
- ・ 辺戸岬における降水中水銀濃度と比較すると、平均値、最大値ともに男鹿半島の方が高かった。
- ・ 水銀の湿性沈着量の週毎の平均値は、204 ngHg/m² (0.204 μgHg/m²) であった。1 年間の沈着量は 10.0 μgHg/m² であった。湿性沈着量については、比較できる基準値等はないが、辺戸岬と同様に、学术论文での報告による国内 10 カ所の観測例の年間湿性沈着量 5.8~18 μgHg/m² (平均 14 μgHg/m²) と比較すると、本調査の平成 31 年度の結果は同程度であった。

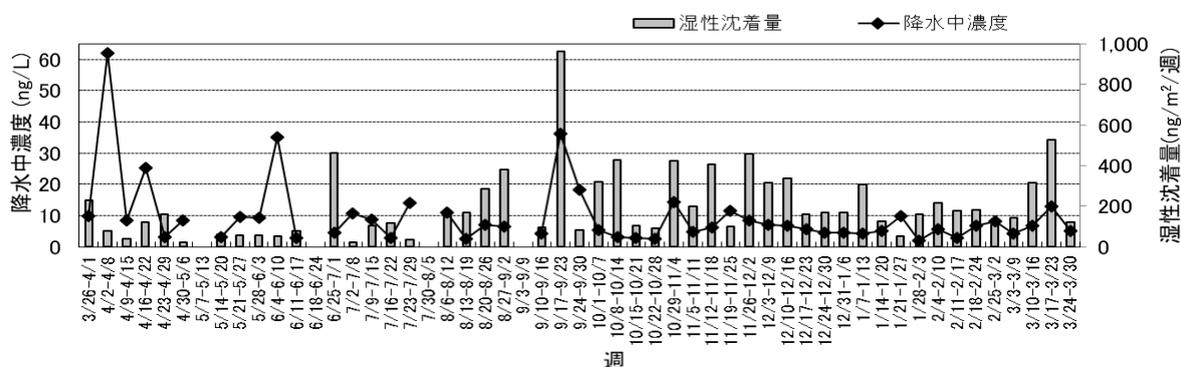


図 8 男鹿半島における降水中水銀濃度及び湿性沈着量 (平成 31 年度)

表 10 男鹿半島における降水中水銀濃度等の測定結果（平成 31 年度）

月・週	採取期間	降水中 水銀濃度 (ngHg/L)	水銀 湿性沈着量 (ngHg/m ² /週)	(参考) 採水量 (L/週)	(参考) 降水量換算 (mm/週)	備考
4月1週	3/26-4/1	10.0	228	0.3	23	
4月2週	4/2-4/8	62.1	77	0.0	1	
4月3週	4/9-4/15	8.5	41	0.1	5	
4月4週	4/16-4/22	25.3	121	0.1	5	
4月5週	4/23-4/29	3.2	161	0.6	50	
5月1週	4/30-5/6	8.5	25	0.0	3	
5月2週	5/7-5/13	-	-	-	-	降水量少ない、0mm/週
5月3週	5/14-5/20	3.1	62	0.2	20	
5月4週	5/21-5/27	9.5	57	0.1	6	
6月1週	5/28-6/3	9.2	59	0.1	6	
6月2週	6/4-6/10	35.2	53	0.0	2	
6月3週	6/11-6/17	2.8	80	0.3	29	
6月4週	6/18-6/24	-	-	-	-	サンプラー不調
7月1週	6/25-7/1	4.5	461	1.2	102	
7月2週	7/2-7/8	10.7	24	0.0	2	
7月3週	7/9-7/15	8.7	106	0.1	12	
7月4週	7/16-7/22	3.0	116	0.4	39	
7月5週	7/23-7/29	14.0	38	0.0	3	
8月1週	7/30-8/5	-	-	-	-	降水量少ない、0mm/週
8月2週	8/6-8/12	10.9	177	0.2	16	
8月3週	8/13-8/19	2.6	169	0.7	65	
8月4週	8/20-8/26	7.0	286	0.5	41	
9月1週	8/27-9/2	6.4	379	0.7	59	
9月2週	9/3-9/9	-	-	-	-	原因不明
9月3週	9/10-9/16	4.4	96	0.2	22	
9月4週	9/17-9/23	36.1	961	0.3	27	
9月5週	9/24-9/30	18.2	85	0.1	5	
10月1週	10/1-10/7	5.5	322	0.7	59	
10月2週	10/8-10/14	3.3	426	1.5	129	
10月3週	10/15-10/21	2.8	105	0.4	38	
10月4週	10/22-10/28	2.7	93	0.4	35	
11月1週	10/29-11/4	14.4	423	0.3	29	
11月2週	11/5-11/11	4.8	201	0.5	42	
11月3週	11/12-11/18	6.2	406	0.7	66	
11月4週	11/19-11/25	11.6	99	0.1	9	
12月1週	11/26-12/2	8.5	458	0.6	54	
12月2週	12/3-12/9	7.0	318	0.5	45	
12月3週	12/10-12/16	6.7	336	0.6	50	
12月4週	12/17-12/23	5.7	160	0.3	28	
12月5週	12/24-12/30	4.6	171	0.4	37	
1月1週	12/31-1/6	4.6	171	0.4	37	
1月2週	1/7-1/13	4.3	309	0.8	72	
1月3週	1/14-1/20	5.1	125	0.3	25	
1月4週	1/21-1/27	9.9	52	0.1	5	
2月1週	1/28-2/3	2.1	163	0.9	78	
2月2週	2/4-2/10	5.8	215	0.4	37	
2月3週	2/11-2/17	2.8	178	0.7	64	
2月4週	2/18-2/24	6.7	184	0.3	27	
3月1週	2/25-3/2	8.2	110	0.2	13	
3月2週	3/3-3/9	4.3	144	0.4	33	
3月3週	3/10-3/16	6.8	314	0.5	46	
3月4週	3/17-3/23	12.9	528	0.5	41	
3月5週	3/24-3/30	5.0	124	0.3	25	
全期間	平均値	6.0	204	0.4	34	単純平均濃度 9.5ng/L
	最小値	2.1	24	0.0	1	年間沈着量 10.0μg/m ² /年
	最大値	62.1	961	1.5	129	

4) 男鹿半島における平成 31 年度と過年度の降水中水銀濃度、湿性沈着量の比較

- 平成 31 年度の降水中水銀濃度の平均値は、6.0 ngHg/L であり、平成 28 年度、平成 29 年度及び平成 30 年度と比較して、概ね同程度であった。一方、降水中水銀濃度の最大値については、平成 28 年度、平成 29 年度及び平成 30 年度と比較して、大きい値であった。(表 11、図 9)
- 平成 31 年度の湿性沈着量の平均値は 204 ngHg/m²/週であり、平成 28～30 年度と概ね同程度であった。(表 11)
- 辺戸岬における平成 31 年度の測定値と比較すると、水銀濃度の平均値は同程度であったが、湿性沈着量の最大値、平均値、年間湿性沈着量は、いずれも辺戸岬の値が男鹿の 1.5 倍程度であった。

表 11 男鹿半島における降水中水銀濃度及び湿性沈着量の年度別調査結果の概要

調査時期	水銀濃度(ngHg/L)			湿性沈着量(ngHg /m ² /週)			年間湿性沈着量 (µgHg/m ² /年)
	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	
平成 28 年度	6.3	1.6	17.7	239	0 (18)	550	11.5
平成 29 年度	5.7	1.4	28.9	215	0 (29)	580	10.3
平成 30 年度	6.0	1.1	34.0	241	0 (31)	995	10.6
平成 31 年度	6.0	2.1	62.1	204	0 (24)	961	10.0

(参考 従来の手順による男鹿半島における降水中水銀濃度の年度別測定結果)

調査時期	水銀濃度(ngHg/L)			湿性沈着量(ngHg /m ² /週)			年間湿性沈着量 (µgHg/m ² /年)
	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	
平成 26 年度	2.5	0.1	9.2	78	0 (1)	431	2.4
平成 27 年度	2.9	0.6	9.5	80	0 (4)	301	4.1
平成 28 年度	4.7	1.2	10.0	197	0 (23)	432	8.5

注 1) 平成 26 年度については、8 月 25 日以降のデータの平均値等を記載している。

注 2) 湿性沈着量の最小値欄の 0 は、無降水の時の沈着量であり、かっこ内の数字は降水サンプル分析時の最も小さい沈着量の値を示している。

注 3) 新手順による測定値は、比較試験の結果、従来手順による測定値に比べ 1.3～1.4 倍程度高い値となっていることが確認されている。

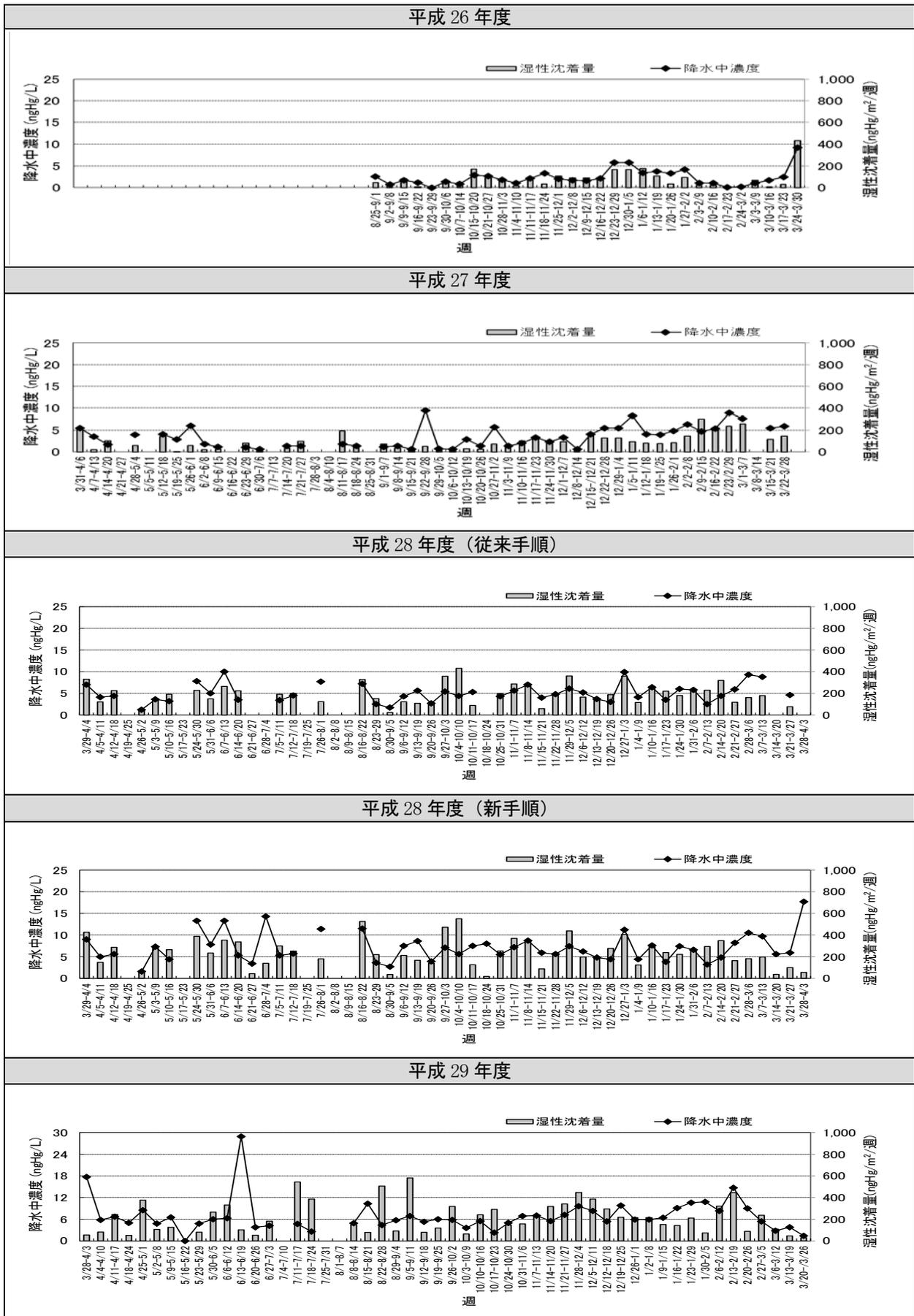


図 9(1) 男鹿半島における降水中水銀濃度及び湿性沈着量の推移

平成 30 年度

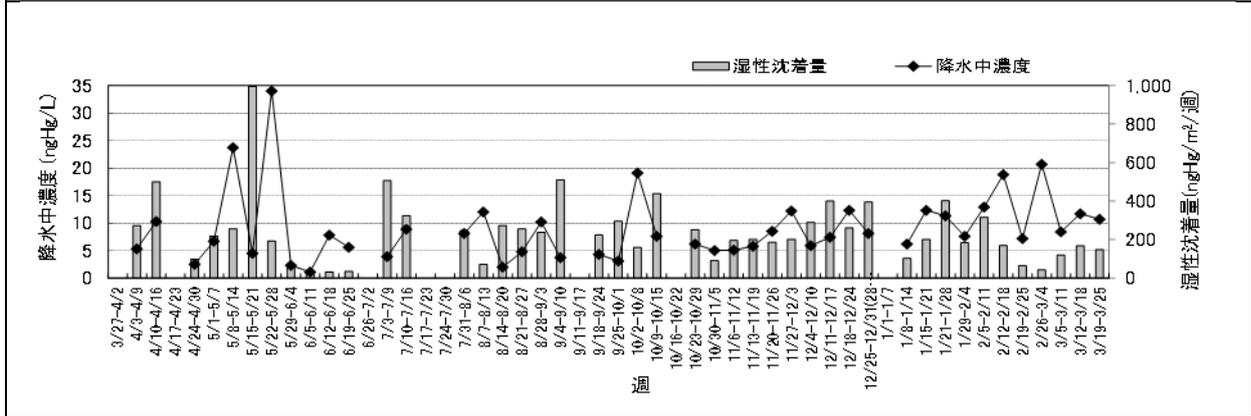


図 9(2) 男鹿半島における降水中水銀濃度及び湿性沈着量の推移

(3) 大気中の粒子状物質中の水銀以外の金属濃度の測定

1) 辺戸岬における平成 31 年度の調査結果の概要

本モニタリング調査では、水銀の発生源・挙動等を解析するため、大気中の粒子状物質に含まれる、又は粒子状物質に吸着した、ニッケル、ヒ素、カドミウム、鉛等の金属元素（有害 17 成分、指標 6 成分）の濃度を、辺戸岬において測定している。平成 31 年度の測定結果は、表 12 に示すとおりである。

指針値が設定されているマンガン、ニッケル及びヒ素について、また、指針値は設定されていないが、クロム、カドミウム及び鉛について、調査結果の概要を以下に示す。

○指針値が設定されている物質（マンガン、ニッケル及びヒ素）

- ・マンガンについては年平均値 3.7 ngMn/m^3 、年間の最大値が 17 ngMn/m^3 、ニッケルについては年平均値は 0.86 ngNi/m^3 、年間の最大値が 2.6 ngNi/m^3 、ヒ素については年平均値 0.66 ngAs/m^3 、年間の最大値が 1.8 ngAs/m^3 であった。いずれの物質も環境中の有害大気汚染物質による健康リスクの低減を図るための指針となる数値（指針値。マンガン：年平均値 140 ngMn/m^3 、ニッケル：年平均値 25 ngNi/m^3 、ヒ素：年平均値 6 ngAs/m^3 ）を常に下回っていた。
- ・年平均は、昨年度と比較して、マンガンはやや低い値、ニッケルとヒ素はわずかに低い値となっていた。

○指針値が設定されていない物質（クロム、カドミウム及び鉛）

- ・クロムについては年平均値が 2.1 ngCr/m^3 、年間の最大値が 12 ngCr/m^3 、カドミウムについては年平均値が 0.083 ngCd/m^3 、年間の最大値が 0.25 ngCd/m^3 、鉛については年平均値が 2.1 ngPb/m^3 、年間の最大値が 7.1 ngPb/m^3 であった。

2) 辺戸岬における平成 31 年度と過年度の金属濃度の比較

- ・平成 31 年度の大気中の粒子状物質中の水銀以外の金属濃度の年平均は、過年度と比較して概ね横ばいで推移していた。なお、有害 17 成分のうち、クロムについては、昨年度測定開始以来の最高値を記録したが、平成 31 年度はその値を超える値となった。一方、バナジウム、アンチモン、タリウムは過年度の最低値と同じ値、亜鉛、ヒ素、セレン、カドミウム、スズ、鉛は測定開始以来の最低値となった。

表 12 粒子状物質中の金属元素類の年度毎測定結果の概要

上段：平均値、下段括弧内：最大値 (単位：ng/m³)

項目	平成 19年度	平成 20年度	平成 21年度	平成 22年度	平成 23年度	平成 24年度	平成 25年度	平成 26年度	平成 27年度	平成 28年度	平成 29年度	平成 30年度	平成 31年度
ベリリウム (Be)	0.012 (0.063)	0.0070 (0.032)	0.014 (0.24)	0.0099 (0.14)	0.0073 (0.047)	0.012 (0.10)	0.0085 (0.053)	0.013 (0.055)	0.0071 (0.027)	0.0059 (0.026)	0.0086 (0.050)	0.011 (0.069)	0.0069 (0.040)
バナジウム (V)	1.5 (5.5)	1.3 (3.0)	1.7 (14)	1.4 (7.9)	1.5 (3.8)	1.7 (6.0)	1.7 (3.7)	1.9 (5.0)	1.9 (5.9)	1.7 (4.9)	2.0 (6.1)	2.0 (6.6)	1.3 (3.6)
クロム (Cr)	0.83 (2.5)	0.52 (1.4)	1.1 (7.4)	1.1 (5.9)	0.87 (7.0)	1.3 (5.2)	1.2 (3.6)	1.4 (5.5)	0.69 (1.7)	0.65 (2.4)	0.91 (3.1)	1.8 (9.8)	2.1 (12)
マンガン (Mn)	6.0 (25)	3.4 (14)	6.7 (92)	5.5 (48)	4.6 (23)	7.4 (49)	4.9 (26)	6.6 (27)	3.7 (14)	2.9 (10)	4.0 (21)	4.9 (22)	3.7 (17)
コバルト (Co)	0.32 (1.9)	0.071 (0.23)	0.16 (1.8)	0.19 (1.1)	0.22 (1.0)	0.26 (2.3)	0.11 (0.54)	0.12 (0.44)	0.16 (0.64)	0.065 (0.24)	0.078 (0.42)	0.094 (0.44)	0.068 (0.30)
ニッケル (Ni)	0.76 (2.1)	0.59 (1.4)	0.87 (5.9)	0.95 (3.7)	0.99 (4.0)	1.1 (3.7)	1.8 (5.5)	1.5 (3.7)	1.1 (3.0)	0.74 (1.9)	0.98 (2.1)	0.97 (2.4)	0.86 (2.6)
銅 (Cu)	1.2 (4.0)	0.79 (2.5)	1.1 (6.3)	1.2 (5.3)	1.0 (3.2)	1.6 (6.5)	1.7 (5.0)	1.8 (5.3)	1.2 (4.2)	0.91 (2.9)	1.1 (3.2)	0.96 (2.7)	0.82 (3.1)
亜鉛 (Zn)	17 (76)	9.2 (42)	11 (42)	14 (50)	13 (46)	17 (53)	18 (59)	16 (83)	9.4 (31)	9.3 (33)	8.4 (22)	7.5 (24)	6.1 (22)
ヒ素 (As)	1.4 (11)	0.68 (2.3)	0.85 (4.1)	0.83 (3.9)	0.76 (2.4)	0.99 (3.1)	0.98 (3.6)	1.1 (4.1)	0.74 (2.4)	0.73 (2.5)	0.73 (2.3)	0.70 (2.0)	0.66 (1.8)
セレン (Se)	0.61 (1.9)	0.49 (1.6)	0.53 (1.2)	0.51 (1.5)	0.52 (1.3)	0.70 (1.8)	0.67 (2.4)	0.71 (2.2)	0.55 (1.2)	0.49 (1.2)	0.54 (1.2)	0.49 (0.99)	0.46 (1.1)
カドミウム (Cd)	0.25 (1.6)	0.13 (0.50)	0.17 (0.62)	0.16 (0.68)	0.12 (0.42)	0.17 (0.51)	0.19 (0.98)	0.20 (0.97)	0.13 (0.58)	0.13 (0.39)	0.11 (0.28)	0.096 (0.28)	0.083 (0.25)
スズ (Sn)	0.49 (2.1)	0.25 (1.0)	0.25 (1.0)	0.26 (1.2)	0.21 (0.77)	0.28 (0.80)	0.30 (1.3)	0.34 (1.2)	0.24 (0.75)	0.21 (0.80)	0.23 (0.80)	0.22 (0.55)	0.19 (1.3)
アンチモン (Sb)	0.44 (3.0)	0.21 (0.73)	0.26 (0.87)	0.24 (0.94)	0.20 (0.61)	0.26 (0.80)	0.32 (1.2)	0.39 (1.6)	0.24 (0.70)	0.35 (5.0)	0.25 (1.0)	0.21 (0.70)	0.20 (0.86)
テルル (Te)	0.030 (0.21)	0.016 (0.055)	0.015 (0.041)	0.016 (0.051)	0.016 (0.057)	0.021 (0.053)	0.022 (0.072)	0.023 (0.076)	0.016 (0.076)	0.015 (0.043)	0.014 (0.047)	0.015 (0.036)	0.018 (0.088)
バリウム (Ba)	3.0 (19)	1.6 (7.6)	3.0 (40)	2.7 (26)	1.9 (10)	2.9 (22)	2.5 (14)	3.6 (20)	2.4 (27)	1.7 (8.1)	2.6 (15)	3.3 (15)	2.3 (10)
タリウム (Tl)	0.066 (0.26)	0.040 (0.16)	0.049 (0.17)	0.048 (0.18)	0.038 (0.18)	0.058 (0.17)	0.058 (0.24)	0.064 (0.23)	0.040 (0.12)	0.036 (0.11)	0.034 (0.11)	0.031 (0.075)	0.031 (0.17)
鉛 (Pb)	12 (86)	4.6 (19)	5.2 (16)	5.7 (22)	5.0 (19)	7.3 (24)	6.9 (28)	6.5 (24)	3.4 (10)	3.1 (10)	2.9 (8.0)	2.7 (7.8)	2.1 (7.1)
ナトリウム (Na)	3,300 (6,900)	3,100 (5,700)	3,500 (7,200)	3,600 (8,200)	4,600 (8,600)	5,000 (11,000)	4,800 (11,000)	4,300 (9,200)	4,300 (7,100)	4,100 (9,300)	4,200 (7,400)	4,200 (7,000)	4,700 (10,000)
マグネシウム (Mg)	220 (550)	190 (330)	220 (860)	280 (910)	310 (620)	340 (1,000)	290 (550)	460 (950)	260 (520)	270 (730)	280 (640)	370 (680)	310 (580)
アルミニウム (Al)	200 (1,600)	130 (630)	270 (3,400)	220 (2,900)	170 (1,200)	270 (2,800)	170 (960)	280 (1,400)	130 (630)	99 (560)	160 (880)	230 (1,500)	130 (820)
カリウム (K)	310 (1,000)	240 (610)	330 (2,700)	300 (1,800)	280 (820)	370 (1,200)	340 (710)	360 (940)	300 (820)	250 (460)	300 (730)	320 (890)	300 (610)
カルシウム (Ca)	210 (1,300)	170 (480)	240 (1,800)	250 (1,600)	270 (860)	350 (1,900)	310 (1,000)	400 (1,400)	260 (500)	230 (600)	270 (820)	320 (1,100)	260 (730)
鉄 (Fe)	160 (920)	110 (540)	240 (4,100)	170 (1,900)	150 (910)	240 (1,900)	170 (960)	230 (990)	120 (550)	90 (440)	140 (830)	190 (980)	120 (660)
粉じん	28,700 (56,400)	25,100 (66,000)	33,200 (152,000)	28,300 (112,500)	30,900 (64,600)	36,900 (81,400)	31,100 (55,900)	31,400 (60,600)	31,200 (52,800)	27,200 (45,100)	27,100 (50,000)	30,100 (58,300)	26,600 (53,500)

環境中の有害大気汚染物質による健康リスクの低減を図るための指針となる数値は、以下のとおり。

ニッケル：年平均値 25 ngNi/m³、ヒ素：年平均値 6 ngAs/m³、マンガン：年平均値 140 ngMn/m³

4. 今後の対応

○モニタリング調査の継続等について

- ・ 国際的な水銀の排出状況及び濃度レベルの推移、それらが我が国の環境に及ぼす影響の把握等に資するため、今後も継続的にモニタリング調査を実施する。
- ・ 調査結果は、専門家の確認を得た上で、今後も定期的に公表する予定である。
- ・ 辺戸岬及び男鹿半島における観測を令和2年度について継続的に実施する。

○大気中形態別水銀濃度の測定結果に係る検討・解析について

- ・ 今年度実施した大気中形態別水銀の測定結果に係る解析・検討については、以下の項目等について、次年度以降も引き続き実施予定である。
 - －大気中水銀濃度と気象要因との関係
 - －大気中水銀濃度と到達する大気の由来・輸送経路との関係
 - －大気中水銀濃度と金属類の濃度との関係
 - －大気中水銀濃度と発生源との関係 等
- ・ 検討・解析の結果については、専門家により一定の信頼性が確保されたと判断され、とりまとめられた時点で、公表を行う予定である。

○国際貢献等について

- ・ 本モニタリング調査のデータは、アジア太平洋地域における大気中の水銀の状況についての基礎資料として国際的に重要であり、また、水銀に関する水俣条約の有効性評価にも資することから、今後も継続的にモニタリング調査を実施し、広く国内外へのデータの提供や結果の発信を行う予定である。
- ・ 本モニタリング調査において、測定精度確保等のために蓄積された技術的な知見についても、国際的に広く共有を図ることとしている。
- ・ これらの取組により、大気経由での水銀の広域輸送等に関する国際的な知見の収集や、それらに基づく国際的な取組に、積極的に貢献することとしている。

本資料では、大気中の水銀については年・月ごとの統計値、降水中水銀については1週間値及び年・月ごとの統計値をとりまとめ公表しているが、研究目的等で、個別の測定データ（表1参照）の提供を希望する場合の問い合わせ先は以下のとおり。

<問い合わせ先>

環境省大臣官房環境保健部環境保健企画管理課水銀対策推進室

環境省大臣官房環境保健部環境安全課

TEL : 03-3581-3351 (内線 6356)

E-mail : suigin@env.go.jp

(参考1) 平成30年度有害大気汚染物質モニタリング調査結果と本調査の結果の比較

環境省では、大気汚染防止法第22条に基づき、地方公共団体が実施した有害大気汚染物質の大気環境モニタリング（有害大気汚染物質モニタリング調査）の結果を取りまとめて公表している。同調査における平成30年度の水銀及びその化合物についての調査結果と、本モニタリング調査における形態別水銀濃度の合計の比較を以下の表に示す。本調査の結果は、有害大気汚染物質モニタリング調査結果における水銀及びその化合物の年平均値と、概ね同程度（辺戸岬と男鹿半島の方が若干低い）であった。

参考表1 有害大気汚染物質モニタリング調査結果との比較

区分	調査項目	年度	年平均値		備考
			辺戸岬	男鹿半島	
本調査	形態別水銀濃度の合計	平成31年度	1.7 ngHg/m ³	1.5 ngHg/m ³	—
		平成30年度	1.6 ngHg/m ³	1.6 ngHg/m ³	—
		平成29年度	1.6 ngHg/m ³	1.6 ngHg/m ³	—
		平成28年度	1.7 ngHg/m ³	1.6 ngHg/m ³	—
有害大気汚染物質モニタリング調査	水銀及びその化合物	平成30年度	1.8 ngHg/m ³ (一般環境)		・一般環境 215 地点の平均値 ・指針値超過地点なし
		平成29年度	1.9 ngHg/m ³ (一般環境)		・一般環境 217 地点の平均値 ・指針値超過地点なし
		平成28年度	1.9 ngHg/m ³ (一般環境)		・一般環境 214 地点の平均値 ・指針値超過地点なし
環境中の有害大気汚染物質による健康リスクの低減を図るための指針となる数値 (指針値)			40 ngHg/m ³		

※大気汚染防止法に基づく平成30年度の有害大気汚染物質モニタリング調査結果の詳細については、環境省水・大気環境局の報道発表（令和2年3月27日）参照（下記）

<http://www.env.go.jp/press/107878.html>

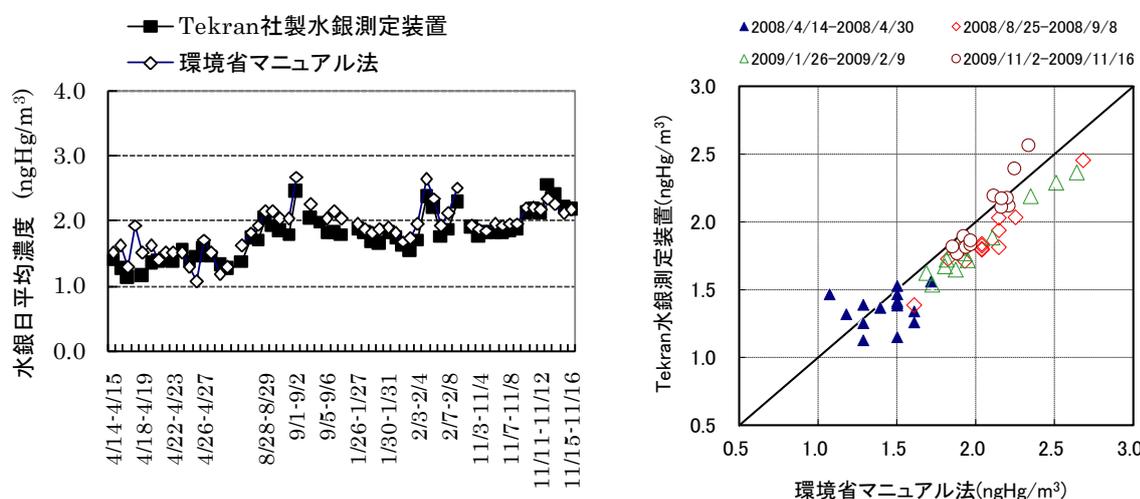
※大気汚染防止法に基づく有害大気汚染物質モニタリング調査における水銀濃度のモニタリングと本調査では測定方法が異なります（参考2参照）。

(参考2) 有害大気汚染物質測定方法マニュアルによる測定と本調査の方法による測定結果の比較

本調査で用いた Tekran 社製の連続測定装置を用いた測定は、国内では事例がほとんどないことから、測定値の精度を確認するため、水銀濃度の大部分を占める金属水銀について、「有害大気汚染物質測定方法マニュアル」（平成 23 年 3 月、環境省）（以下、「環境省マニュアル法」と言う。）による水銀濃度の測定との並行試験を実施し、測定結果を比較した。並行試験は、辺戸岬において、平成 20～21 年（2008～2009 年）にかけて、各 2 週間程度、計 4 回行った。

それぞれの測定方法で得られた水銀濃度の日平均値*を比較したところ、連続測定装置による測定結果は、環境省マニュアル法に基づく測定の結果と測定値がほぼ一致していることが確認された。（参考図 1）

※Tekran 社製装置による連続測定では、1 日 16 回測定した測定値の平均値を示す。また、環境省マニュアル法による測定では、24 時間連続サンプリング（1 日 1 回の測定）した際の測定結果を示す。



(左) 環境省マニュアル法に基づき測定された「水銀」濃度と本調査の金属水銀濃度の測定結果の比較

(右) 上記測定結果間の相関関係

参考図 1 環境省マニュアル法に基づく測定との並行試験結果

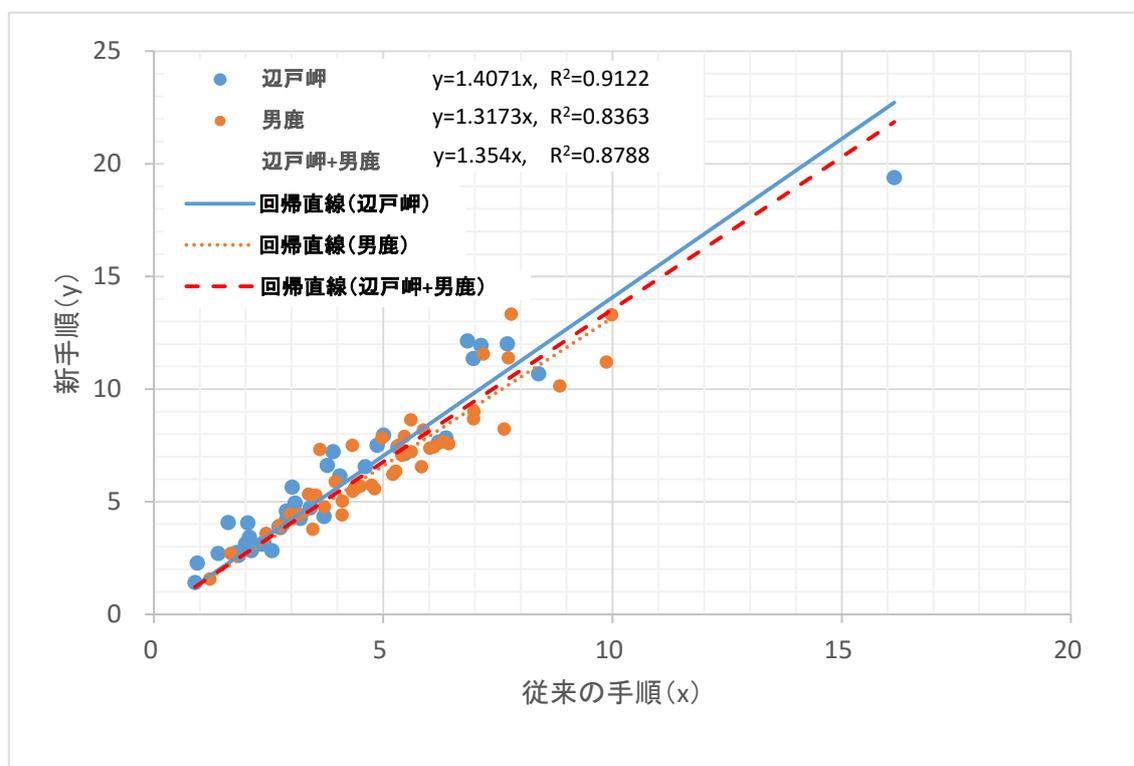
(参考3) 降水中水銀分析手順の違いによる測定結果の比較検討

平成27年度の有害金属モニタリング調査検討会において、分析手順における一塩化臭素の試料への添加タイミングが降水中水銀濃度の測定値に影響する可能性が指摘された。確認のため、平成28年2月から平成29年2月までの1年間、一塩化臭素添加のタイミングの異なる2つの手順による測定値の比較観測を実施した。

従来は、採取容器から分解ビンに試料を分取した後、分取試料に一塩化臭素を添加し、12時間以上反応させるという手順としていたが、新手順では、採取容器に直接一塩化臭素を添加し、12時間以上反応させた後に分解ビンに分取するという手順とした。

それぞれの分析手順で得られた降水中水銀濃度の週毎の値を比較したところ、新手順は従来の手順に対して1.3~1.4倍程度高い値を示すことが確認され、従来無視できると考えていた採取容器の壁面への吸着量が無視できない大きさであることが明らかとなった。

平成28年度の有害金属モニタリング調査検討会に比較観測結果を諮り、検討会での議論を踏まえて、より真値に近い値が得られていると考えられる新しい分析手順を平成28年度以降採用することが決定した。



参考図2 従来の手順による降水中水銀濃度と新手順による降水中水銀濃度の比較