

<報 文>

九州・山口地域における有害大気汚染物質濃度の 経年変化への越境大気汚染の影響*

村岡俊彦**・豊永悟史**・古澤尚英**
今村修**・北岡宏道**

キーワード ①有害大気汚染物質 ②越境移流 ③経年変化 ④九州・山口地域

要 旨

九州・山口地域における有害大気汚染物質について、越境移流の影響を把握することを目的に解析を行った。その結果、越境移流の影響を受けた高濃度日事例は出現するものの、Ox、酸性雨のように越境移流の影響が経年的に増加し、懸念される状況となっているわけではないものと結論づけられた。ただし、1,2-ジクロロエタンについては、経年的に増加傾向にある可能性も見られたが、全国的な経年変化の挙動でも同様の傾向が見られることから現時点で越境移流の影響と結論づけることはできなかった。現状では指針値を大幅に下回っており健康的影響のあるレベルではないが、高濃度日事例解析から、越境移流の頻度が他の物質よりも高いと考えられることから、今後のモニタリングにおいて、その挙動には注意すべきである。

1. はじめに

2006年度に長崎・熊本県で県観測史上初の光化学スモッグ注意報が発令されるなど、近年、高濃度光化学オキシダント発生の広域化が問題となっており、その要因として大陸からの越境移流による影響が指摘されている^{1,2)}。酸性雨についても、九州・沖縄・山口地方酸性雨共同調査において酸性成分の増加傾向が認められ、大陸からの越境移流が要因である可能性が報告されている³⁾。

このような状況の中、有害大気汚染物質についても同様に越境移流の影響が懸念されることを背景とした九州地方知事会(2007年度第130回)にお

ける政策連合による取組みがスタートしたことを受け、九州衛生環境技術協議会大気分科会と山口県環境保健センターとの共同調査として、「九州・山口地方有害大気汚染物質共同調査」が開始された。

本共同調査において、過去の調査結果による経年変化、季節変化等を調べるとともに、参加研究機関による同日採取を行い広域的な汚染状況を解析した結果、いくつかの知見が得られたので報告する。

* Influence of Trans-Boundary Air Pollution on Long-Term Trends of the Concentrations of Hazardous Air Pollutants in the Region of Kyushu and Yamaguchi

** Toshihiko MURAOKA, Satoshi TOYONAGA, Syouei FURUSAWA, Osamu IMAMURA, Hiromichi KITAOKA (熊本県保健環境科学研究所) Kumamoto Prefectural Institute of Public-Health and Environmental Science

2. 方 法

2.1 調査参加機関

本共同調査は次の参加機関により実施された。山口県環境保健センター，福岡県保健環境研究所，福岡市保健環境研究所，北九州市環境科学研究所，佐賀県環境センター，長崎県環境保健研究センター，熊本県保健環境科学研究所，熊本市環境総合センター，大分県衛生環境研究センター，宮崎県衛生環境研究所，鹿児島県環境保健センター，沖縄県衛生環境研究所。

2.2 調査地点

すべての調査地点は，大気汚染防止法に基づき各関係自治体が行っている有害大気汚染物質の大気環境モニタリングにおける一般環境地点である(2009年度時点)。調査地点図を図1に示した。

2.3 解析対象期間

測定地点数が極端に少ない場合を除き，原則として調査開始日1997年度からのデータを使用し解析を行った。広域的な汚染状況の解析については，同日採取を実施した2008，2009年度の全調査日のデータを使用した。

2.4 解析対象物質

有害大気汚染物質のうち，環境省報告対象(2011年度時点)である次の19物質を解析対象とした。アクリロニトリル，アセトアルデヒド，塩化ビニルモノマー，クロロホルム，酸化エチレン，1,2-ジクロロエタン，ジクロロメタン，水銀およ

びその化合物(以下，水銀)，テトラクロロエチレン，トリクロロエチレン，ニッケル化合物(以下，ニッケル)，ヒ素およびその化合物(以下，ヒ素)，1,3-ブタジエン，ベリリウムおよびその化合物，ベンゼン，ベンゾ(a)ピレン，ホルムアルデヒド，マンガンおよびその化合物(以下，マンガン)，クロムおよびその化合物。

2.5 サンプルングおよび分析方法

サンプルングおよび分析法は有害大気汚染物質測定方法マニュアル⁴⁾に従って実施された。なおサンプルングは，2008年度以降原則としてあらかじめ設定した日に同一採取を行った。

なお，ND値については原則として環境省報告どおりのNDの1/2値を使用した。

2.6 越境移流の指標

同日採取期間における越境移流の有無を判断するために，国立環境研究所地球環境研究センターのMETEX⁵⁾のデータを用い，広域高濃度日のサンプルング開始日のPM12時，終了日のPM12時の後方流跡線(起点高度1,000m，遡及時間72時間)を作成し，大気汚染物質の移流経路を求めた。また，調査日に硫酸塩濃度が測定されている場合は，このデータを越境移流の指標の一つとした。

3. 結果および考察

3.1 各調査地点における地域内汚染の影響

越境移流の影響を把握するためには，地域内汚染の影響ができるだけ低い地点を選定し解析する必要がある。そこで，各調査地点における有害大気汚染物質濃度に対する地域内汚染の影響を把握するために，各地点の2009年度までの有害大気汚染物質測定データに基づく統計値(90%値，80%値，50%値，10%値，平均値)を求めた。例として，1,2-ジクロロエタン，テトラクロロエチレンおよび水銀に関する結果を図2に示した。なお，項目調査データが少なく統計値が算出できない地点については平均値(図中黒色)のみ示し，データが最大目盛りを超過した場合は最大目盛りまでの表示としている。

1,2-ジクロロエタン，テトラクロロエチレンの地点ごとの統計値の比較から明らかとなっており，有害大気汚染物質は，地域間の差が大きく，地域発生の影響をかなり受けていることがわかる(図



図1 調査地点図

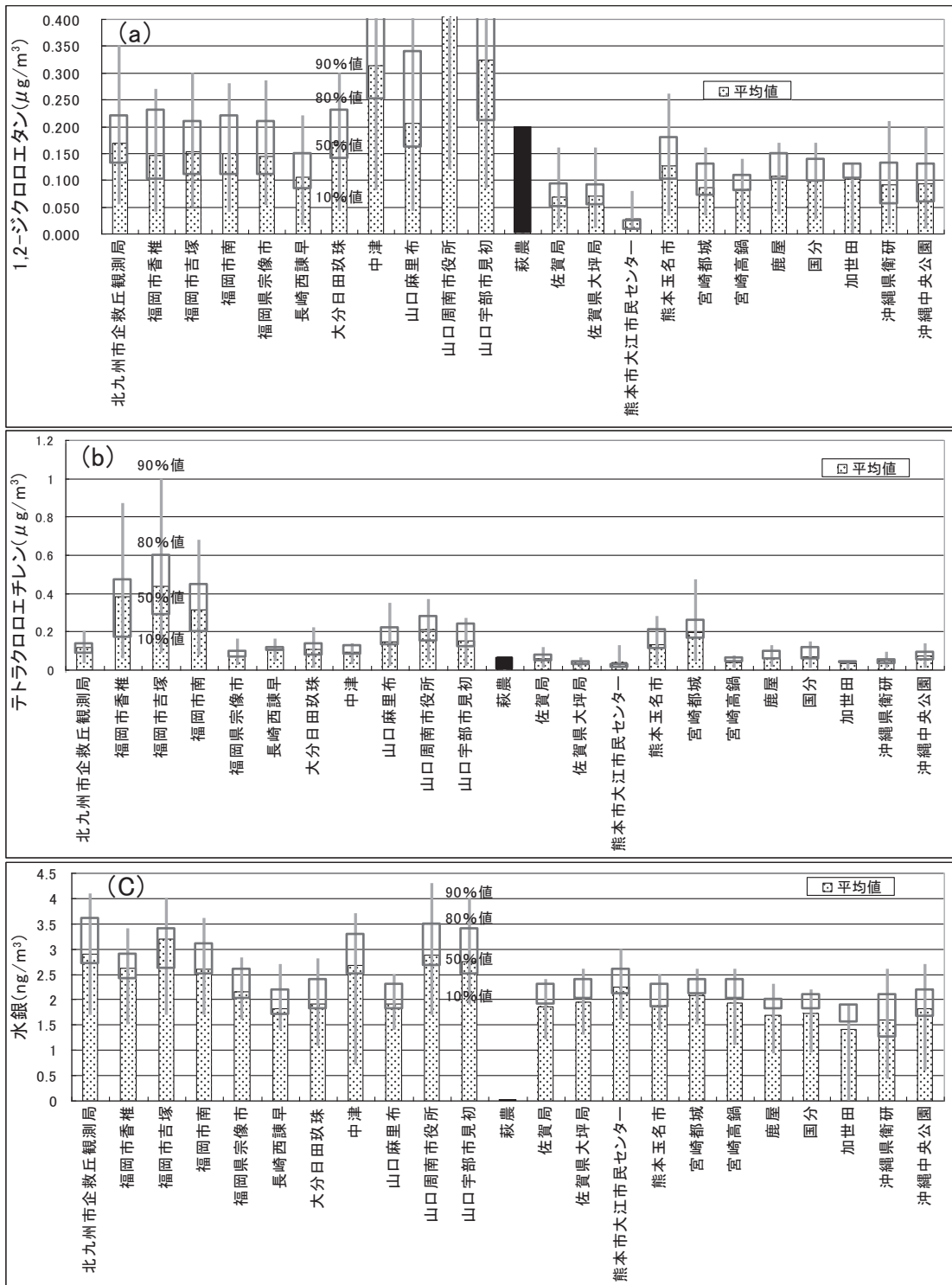


図2 有害大気汚染物質の各調査地点における濃度レベル(a)1,2-ジクロロエタン, (b)テトラクロロエチレン, (c)水銀

2)。ほとんどの物質については、同様の大きな地域間差が認められた。これらのことから、越境移流による影響を評価する場合、この地域発生分と可能な限り区別することが重要であるといえる。

一方で、水銀については地域間の差が比較的小さかった(図2)。水銀に関するPRTR大気排出量届出データ(2009年度)では、全地点排出がないこと⁶⁾、および地球規模での水銀の循環がある⁷⁾ことがこの要因と考えられた。同様の傾向はベンゼン、酸化エチレン、アセトアルデヒドについても認められた。

3.2 有害大気汚染物質濃度の経年変化および季節変動から見た越境移流の影響

九州地域では、Ox、酸性雨についてとくに越境移流による影響が大きいことが報告されており、Ox平均濃度の経年変化が増加傾向にあること²⁾、 nss-SO_4^{2-} の湿性沈着量が増加傾向にあるなど、酸性成分で経年的増加傾向が大きいことが報告されている³⁾。

そこで、有害大気汚染物質についても経年変化および季節ごとの経年変動の傾向から、越境移流の影響を把握することを検討した。

3.2.1 経年変化

先の3.1で述べたとおり、有害大気汚染物質は地域内汚染の影響を相当受けている。そこで、2009年度までのデータに基づく50%値が一定の値以下の低濃度地点を選定し、これら地点についての年度ごとの統計値(最大値、最小値、平均値、90%値、80%値、50%値、10%値)の経年変化を見ることで、地域内汚染の影響をできるだけ取り除き、越境移流の影響がより明確に把握できるようにした。

環境基準設定物質、指針値設定物質に関する経年変化を図3.1~3.3に示した。

また表1に、全物質について2000~2009年度の期間における経年変化率を示した。経年変化率は、有害大気汚染物質濃度(80%値、50%値)の経年変化の回帰直線の傾きを求め、次式で算出した。

経年変化率(%) = (回帰直線の傾き / 期間平均値) × 100

併せて、回帰直線の相関係数を表1に示してい

る。さらに、経年変化における越境移流の影響がより明確に把握できるように、低濃度地点のうち、越境移流の影響が大きいと考えられる九州北部(沖縄県・鹿児島県・宮崎県を除く県)・山口の地点のみをさらに選定し、これら地点についての経年変化率、相関係数を併せて示した。

図3.1~3.3および表1より、1,2-ジクロロエタン以外の物質については、経年的な増加傾向は見られず、経年変化率がプラスの場合も数%程度であり、相関係数も低く、統計的に有意(有意水準5%)な増加傾向を示したものは認められなかった。むしろ、テトラクロロエチレン、トリクロロエチレン、ベンゼン、アクリロニトリル、1,3-ブタジエンおよびベンゾ(a)ピレンについては、経年変化率もマイナスであり、相関係数からも統計的に有意(有意水準5%)な経年的減少傾向(表1)が認められた。

このことは、環境省による2009年度調査結果における全国の調査地点の平均値の経年変化⁸⁾の挙動と一致しており、国内の排出削減効果によるものと推察された。

これらのことから、九州・山口地域の有害大気汚染物質については、Ox、酸性雨のように越境移流の影響が経年的に増加し、懸念される状況となっているわけではないことが結論づけられる。

一方で、1,2-ジクロロエタンの経年変化では90%値、80%値、平均値が2004年度から上昇傾向にある(図3.2)。表1においても、80%値が有意(有意水準5%)な増加を示している。越境移流の影響をより受けやすいと考えられる九州北部のみの地点でも、統計的に有意ではないが、80%値において依然として他の物質よりも大きなプラスの経年変化率が見られる。

この傾向は、前述の環境省による全国の調査地点の平均値の経年変化でも同様であり、1,2-ジクロロエタンのみが他の物質とは異なり、2002年度頃から幾分増加傾向が見られる。

図4に示した1,2-ジクロロエタンのPRTR排出量⁶⁾(届出量と届出外量の合計値)の経年変化からは、2002年度以降ほとんどの県で排出量が大幅に減少する傾向となっており、上記の経年変化傾向と矛盾する。一方でこの1,2-ジクロロエタンの挙動は、全国的なものであることから考えると、

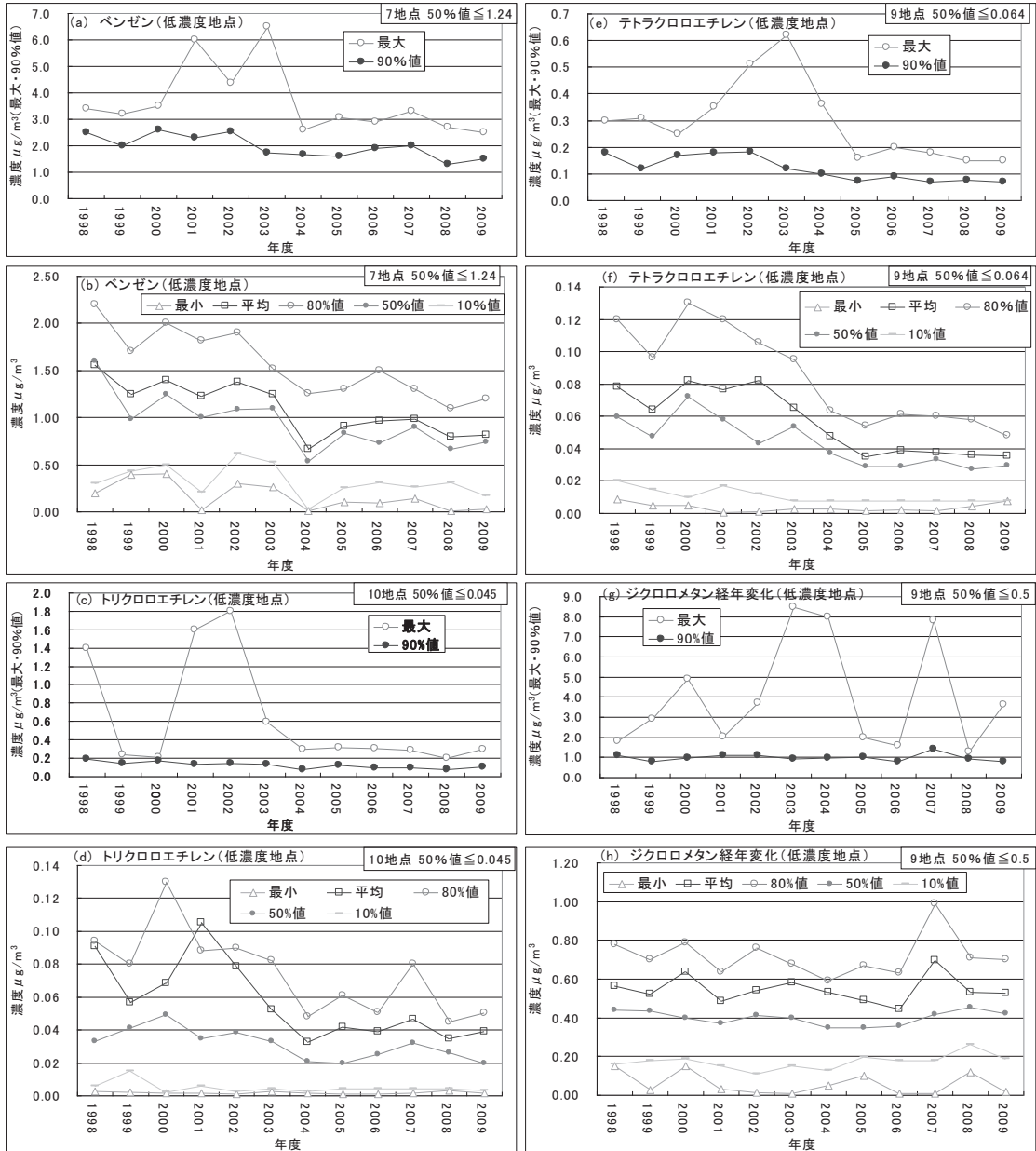


図 3.1 有害大気汚染物質の低濃度地点における経年変化(a), (b)ベンゼン, (c), (d)トリクロロエチレン, (e), (f)テトラクロロエチレン, (g), (h)ジクロロメタン

今回の解析結果から越境移流が要因と判断するのは早計であり、今後より詳細な検討が必要である。

3.2.2 季節ごとの経年変化

2002～2009年度にかけての季節ごとの経年変化(80%値, 50%値)を解析した。なお、3.2.1と同

様に低濃度地点(低50%値地点)のデータを使用している。また、春季は4～6月、夏季は7～9月、秋季は10月～12月、冬季は1～3月としている。

夏季は清浄な海洋性気団に覆われるため¹⁾、越境移流の影響を受けている物質の濃度は夏季に低くなる挙動を示す傾向にある。そこで表 2.1, 2.2

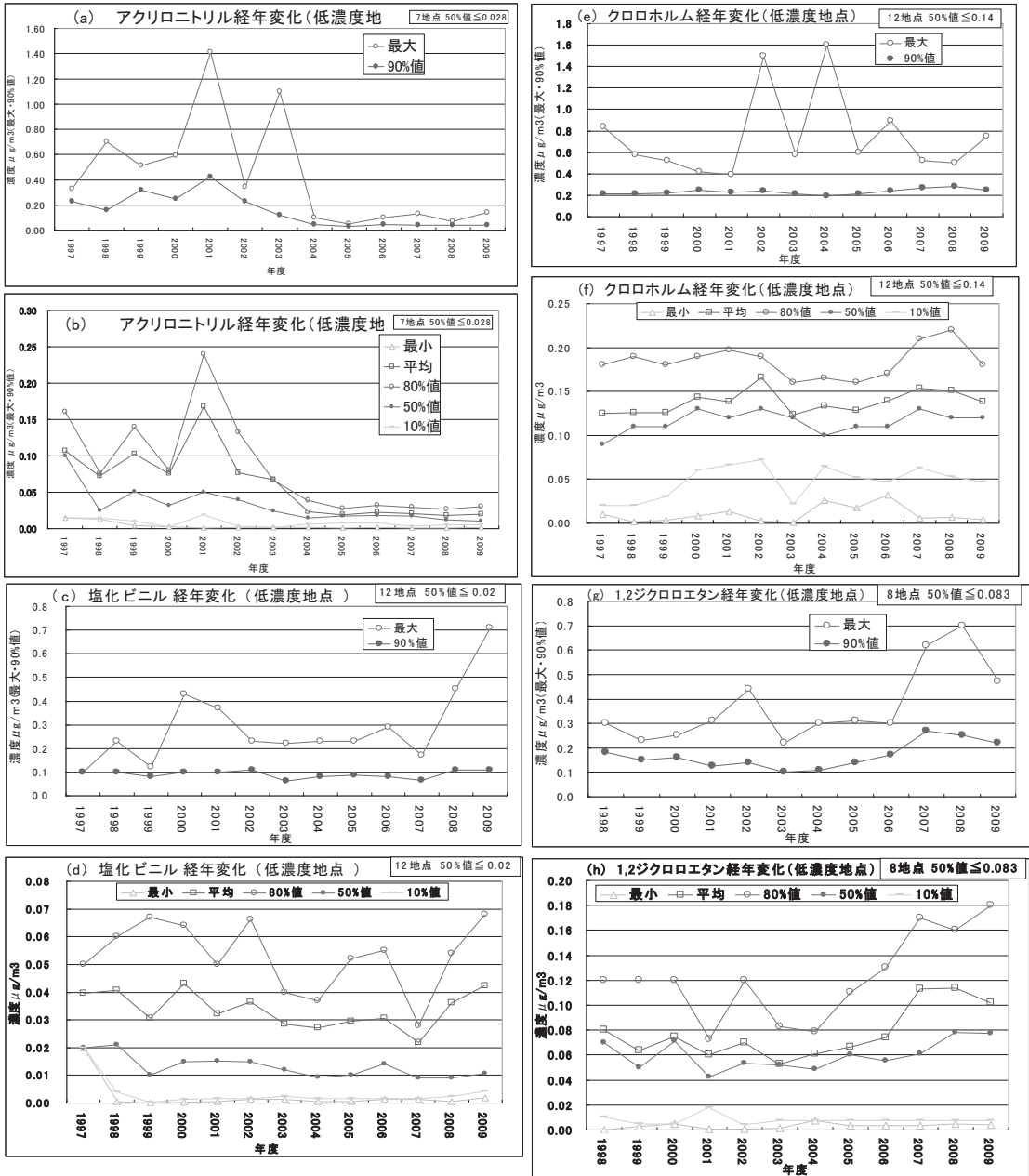


図 3.2 有害大気汚染物質の低濃度地点における経年変化(a), (b)アクリロニトリル, (c), (d)塩化ビニルモノマ, (e), (f)クロロホルム, (g), (h)1,2-ジクロロエタン

に、夏季に濃度が低下する傾向が明確に認められた物質について、2002～2009年度の期間における各季節の80%値、50%値の経年変化率および相関係数を示した。経年変化率および相関係数は、先の3.2.1で説明したとおりである。

表 2.1, 2.2 より、1,2-ジクロロエタン以外の物質については春、秋および冬季において、経年変化率がプラスの場合もあるが、相関係数も低く、統計的に有意(有意水準5%)な増加傾向を示したものは認められなかった。むしろ、1,3-ブタ

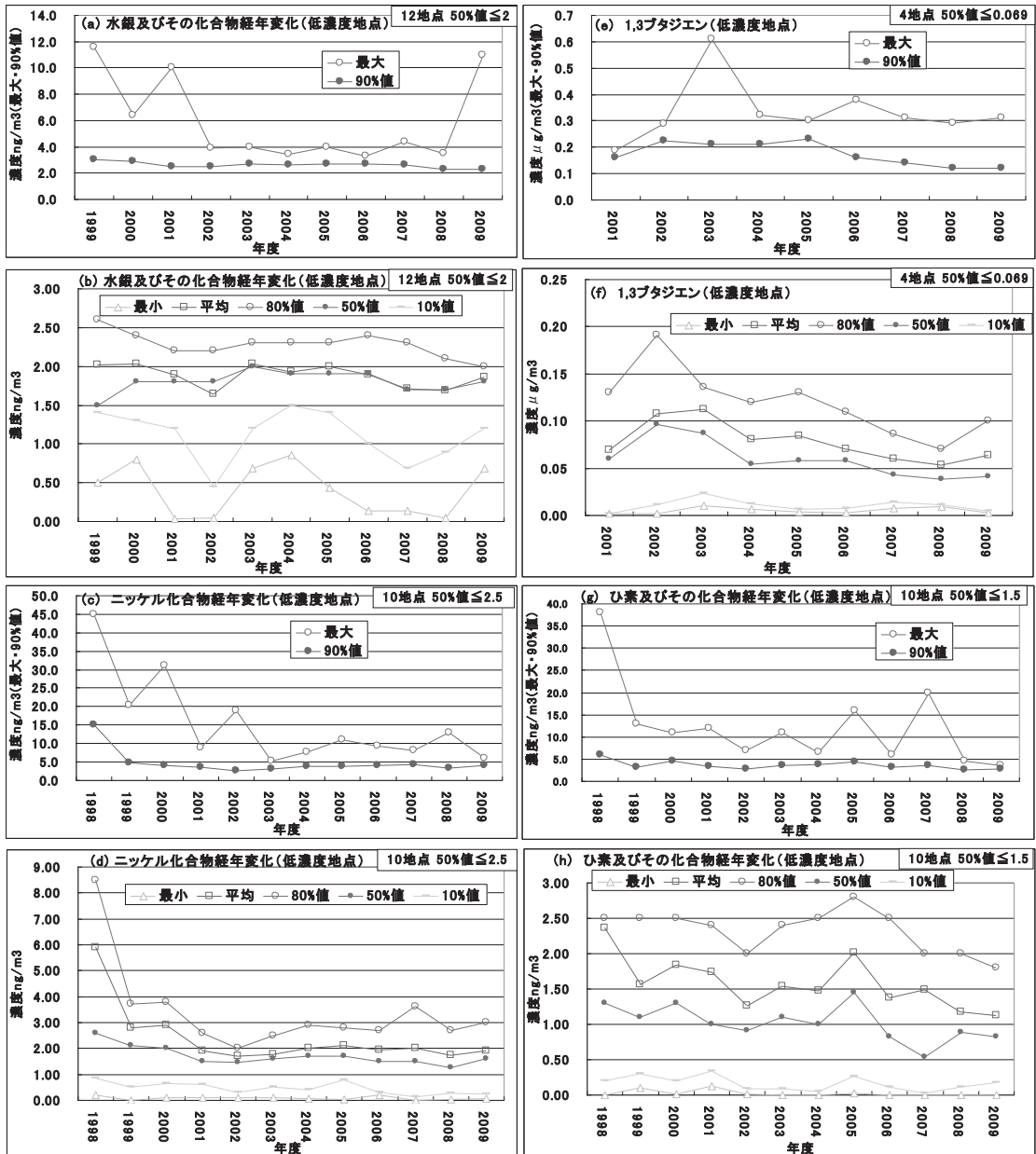


図 3.3 有害大気汚染物質の低濃度地点における経年変化(a), (b)水銀, (c), (d)ニッケル, (e), (f)1,3-ブタジエン, (g), (h)ヒ素

ジエン, テトラクロロエチレンについては, 相関係数からも統計的に有意(有意水準 5%)な経年的減少傾向が認められた。

このことから, これら有害大気汚染物質濃度が夏季以外の季節に増加する理由は, 経年的増加傾向が見られないことから, 越境移流よりもむしろ,

冬季等の逆転層の発生に伴う地表汚染物の滞留, もしくは夏季の盛んな鉛直混合による地表汚染物の拡散に伴う濃度低下, および夏季の高い気温および強い紫外線により分解し低濃度となる可能性⁹⁾が要因と考えられた。

一方, 1,2ジクロロエタンについてのみは

表 1 各物質の経年変化率およびその相関係数

	低濃度地点				九州北部及び山口 低濃度地点			
	80%値		50%値		80%値		50%値	
	変化率	相関係数	変化率	相関係数	変化率	相関係数	変化率	相関係数
【1】 アクリロニトリル	-22.2	-0.690	-15.1	-0.828	-15.7	-0.709	-12.0	-0.751
【2】 アセトアルデヒド	1.8	0.452	1.2	0.304	-0.9	-0.156	-1.7	-0.399
【3】 塩化ビニルモノマー	-0.8	-0.093	-5.4	-0.739	-3.2	-0.276	-5.4	-0.442
【4】 クロロホルム	0.6	0.169	-0.6	-0.203	-1.4	-0.388	-2.1	-0.500
【6】 酸化エチレン	0.5	0.116	0.2	0.047	1.5	0.416	2.2	0.486
【7】 1,2-ジクロロエタン	7.8	0.756	3.7	0.558	4.2	0.369	0.8	0.127
【8】 ジクロロメタン	0.7	0.125	1.0	0.340	-1.7	-0.366	-1.4	-0.349
【9】 水銀及びその化合物	-0.9	-0.506	-0.5	-0.293	0.6	0.207	0.03	0.016
【12】 テトラクロロエチレン	-11.5	-0.919	-10.7	-0.876	-10.0	-0.821	-11.5	-0.800
【13】 トリクロロエチレン	-9.6	-0.789	-7.7	-0.741	-8.0	-0.797	-10.9	-0.793
【14】 ニッケル化合物	0.4	0.070	-2.1	-0.502	1.1	0.212	1.8	0.385
【15】 ヒ素及びその化合物	-2.2	-0.491	-4.5	-0.522	-1.9	-0.493	-5.1	-0.651
【16】 1,3-ブタジエン	-8.3	-0.779	-9.3	-0.759	-8.3	-0.617	-12.5	-0.885
【17】 ベリリウム及びその化合物	1.0	0.077	-13.3	-0.605	1.4	0.101	-2.2	-0.348
【18】 ベンゼン	-6.2	-0.884	-5.9	-0.712	-4.1	-0.431	-4.7	-0.330
【19】 ベンゾ(a)ピレン	-8.2	-0.748	-7.5	-0.708	-8.5	-0.726	-10.0	-0.744
【20】 ホルムアルデヒド	1.6	0.626	0.7	0.220	1.0	0.348	-0.8	-0.204
【21】 マンガン及びその化合物	2.5	0.270	0.0	-0.001	1.7	0.184	-0.3	-0.067
【22】 クロム及びその化合物	2.7	0.419	3.6	0.357	2.7	0.618	2.7	0.422

注1) 2000～2009年度の経年変化データを使用(1,3-ブタジエンのみ2001(2003:九州北部・山口)～2009年度)

注2) 太字・塗りつぶし表示は $p < 0.05$ (有意水準 5%)

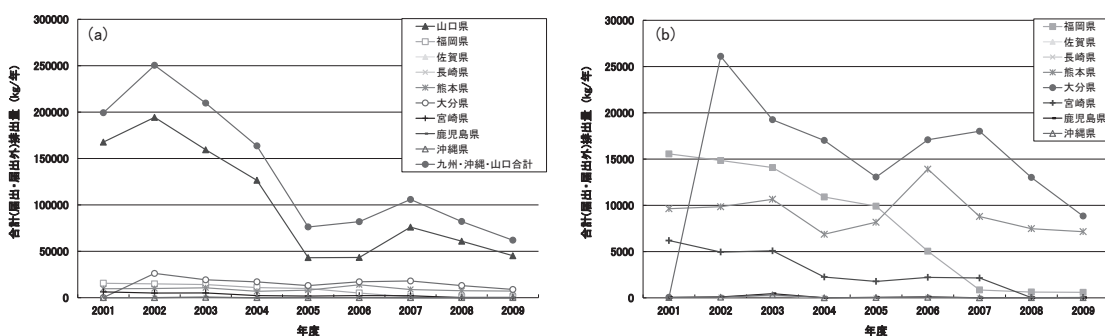


図 4 1,2-ジクロロエタンの排出量(PRTR に基づく)の経年変化(a)九州・沖縄・山口地域の各県および合計排出量, (b)九州・沖縄地域の各県排出量

表 2.1, 2.2 に示すとおり, 80%値の冬季, 50%値の春季・冬季において統計的に有意(有意水準 5%)な経年の増加傾向が認められたことから越境移流の影響を受けている可能性も考えられた。しかし, この挙動は, 先の 3.2.1 の経年変化と同様に, 全国的な挙動を反映したものと推測されるこ

とから, さらなる検証を要する。

3.2.3 高濃度事例

各県同一日調査を行った2008, 2009年度において広域的に高濃度が観測された事例として, 2009年4月9日の調査日の解析結果を示す。

この調査日においては, 後方流跡線が大陸を経

表 2.1 各物質の季節ごとの経年変化率および相関係数(80%値)

	80%値							
	春季		夏季		秋季		冬季	
	変化率	相関係数	変化率	相関係数	変化率	相関係数	変化率	相関係数
【3】塩化ビニルモノマー	-8.2	-0.304	-1.2	-0.052	8.1	0.414	-3.2	-0.269
【12】テトラクロロエチレン	-6.5	-0.594	-23.1	-0.645	-12.9	-0.702	-7.8	-0.837
【15】ヒ素及びその化合物	-0.3	-0.049	2.5	0.171	-3.5	-0.357	-9.2	-0.544
【16】1,3-ブタジエン	-10.8	-0.466	-22.3	-0.861	-9.4	-0.740	-10.4	-0.737
【17】ベリリウム及びその化合物	5.4	0.239	-1.8	-0.097	2.1	0.318	-3.8	-0.199
【18】ベンゼン	-3.1	-0.552	-9.3	-0.816	-1.3	-0.253	-4.5	-0.454
【19】ベンゾ(a)ピレン	-5.0	-0.350	-4.8	-0.409	-11.1	-0.647	-9.4	-0.535
【7】1,2-ジクロロエタン	17.6	0.665	2.3	0.148	7.1	0.460	15.4	0.901

注1) 2002～2009年度の経年変化データを使用

注2) 太字・塗りつぶし表示は $p < 0.05$ (有意水準 5%)

表 2.2 各物質の季節毎の経年変化率および相関係数(50%値)

	50%値							
	春季		夏季		秋季		冬季	
	変化率	相関係数	変化率	相関係数	変化率	相関係数	変化率	相関係数
【3】塩化ビニルモノマー	-4.4	-0.353	3.4	0.278	0.3	0.019	2.8	0.183
【12】テトラクロロエチレン	-10.6	-0.625	-2.0	-0.153	-9.3	-0.685	-7.4	-0.873
【15】ヒ素及びその化合物	2.8	0.170	11.1	0.668	-6.7	-0.468	-7.8	-0.390
【16】1,3-ブタジエン	-13.1	-0.724	-17.4	-0.972	-15.2	-0.619	-4.5	-0.324
【17】ベリリウム及びその化合物	4.6	0.243	8.3	0.587	-7.3	-0.401	0.2	0.019
【18】ベンゼン	-5.5	-0.551	-11.2	-0.704	-4.6	-0.401	-5.6	-0.484
【19】ベンゾ(a)ピレン	-1.9	-0.199	-6.8	-0.647	-7.6	-0.490	-10.0	-0.695
【7】1,2-ジクロロエタン	14.0	0.768	11.0	0.653	7.8	0.619	15.5	0.868

注1) 2002～2009年度の経年変化データを使用

注2) 太字・塗りつぶし表示は $p < 0.05$ (有意水準 5%)

由しており、硫酸塩濃度(熊本県宇土市にて測定)が $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過しており、越境移流の影響を受けた可能性が高いものと考えられる。

この調査日における地点ごとの濃度を、2009年度までのデータに基づく統計値(最大値, 90%値, 80%値, 50%値)と比較した結果を図5に示した。

なお、観測地点の半数以上で80%値を超過した項目についてのみ示しており、低濃度地点(50%値が全地点で低い順に5番目までの地点)には、図中※を示した。また、データが最大目盛りを超過した場合、最大目盛りまでの表示としている。

1,2-ジクロロエタンについて見てみると、低濃度地点(図中※印)についてはいずれも80%値を超過しており、同レベルの濃度が観測されているこ

とから、越境移流の影響の可能性が高いものと考えられる。その他の地点については、地域内発生分の影響が加味されているために、地点間の濃度差が大きくなったものと推測された。アセトアルデヒド、ニッケルについても同様の理由で地点間濃度差が大きくなったものと考えられた。一方、マンガンとヒ素については、比較的地点間の濃度差が小さかった。マンガンの散布図を見ると、有意(有意水準 5%)な相関が認められることから(図6)、同一の気塊の通過により各地点の濃度が上昇したものと考えられることから、各地点とも越境移流の影響が大きかったものと判断された。

また、越境移流時には、鉛と亜鉛濃度比が大きくなることが報告されている¹⁰⁾。そこで、熊本県

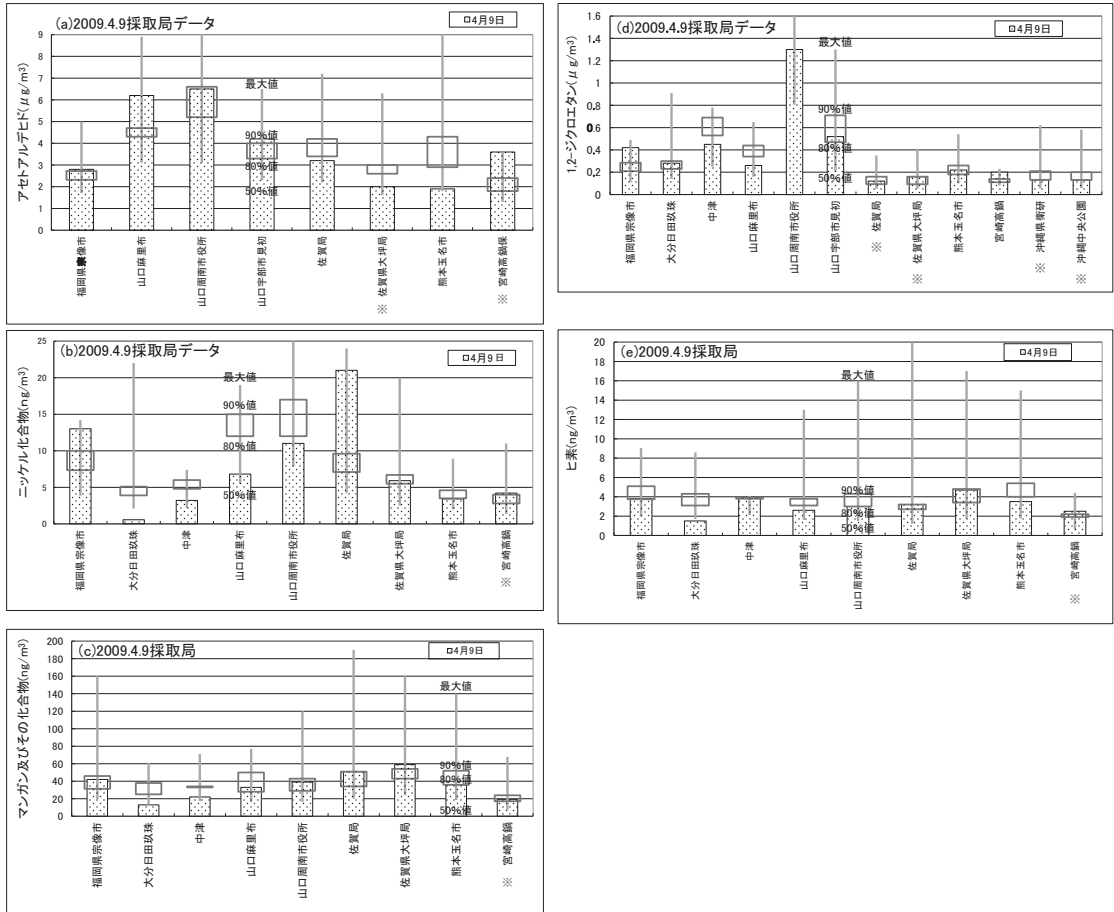


図5 2009年4月9日の各調査地点における有害大気汚染物質濃度および80%値等各統計値 (a)アセトアルデヒド, (b)ニッケル, (c)マンガン, (d)1,2-ジクロロエタン, (e)ヒ素

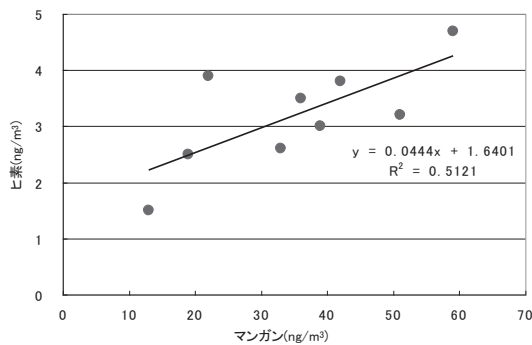


図6 2009年4月9日の各調査地点におけるマンガンとヒ素濃度の相関

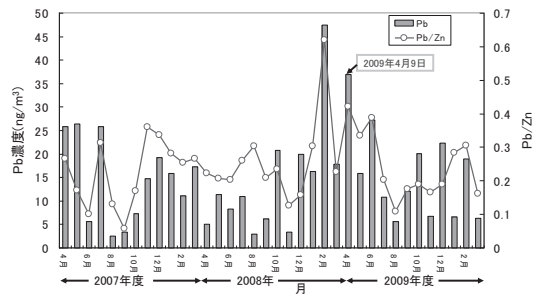


図7 鉛濃度および鉛-亜鉛濃度比の経月変化 ※熊本県玉名市における調査データ使用

玉名における鉛-亜鉛濃度比の2007年度からの経月変動を図7に示した。図から、この調査日において、この濃度比(図中Pb/Znとして表示)が

なり高いことから越境移流の影響が見てとれる。

なお同一日調査において、同様の解析により、

表3 同一日調査において広域的な高濃度が観測された項目一覧

調査日(サンプリング開始日)	2008年 8月5日	2009年 2月12日	2009年 4月9日	2009年 6月1日
[1] アクリロニトリル				
[2] アセトアルデヒド			○	○
[3] 塩化ビニルモノマー				
[4] クロロホルム				
[6] 酸化エチレン				○
[7] 1,2-ジクロロエタン	○	○	○	○
[8] ジクロロメタン				
[9] 水銀およびその化合物		○		
[12] テトラクロロエチレン				
[13] トリクロロエチレン				
[14] ニッケル化合物			○	
[15] ヒ素およびその化合物		○	○	
[16] 1,3-ブタジエン				
[17] ベリリウムおよびその化合物				○
[18] ベンゼン		○		
[19] ベンゾ(a)ピレン				
[20] ホルムアルデヒド	○			○
[21] マンガンおよびその化合物		○	○	○
[22] クロムおよびその化合物				

○：80%値超過局数/同日測定局数 $\geq 1/2$ 、かつ2県以上で80%値超過した項目

越境移流の可能性が認められた調査日および広域的高濃度が観測(観測測定局の半数以上で80%値を超過し、かつ2県以上の測定局で80%値超過)された項目の一覧を表3に示した。

1,2-ジクロロエタン、マンガンについてはほとんどの場合において、広域的に高濃度が観測されていたことから、越境移流の頻度が他の物質よりも高い可能性が示唆された。

4. まとめ

今回の共同調査より、九州・山口地域の有害大気汚染物質については越境移流の影響を受けた高濃度日事例は出現するものの、O_x、酸性雨のように越境移流の影響が経年的に増加し懸念される状況となっているわけではないものと判断された。

その要因の一つとして、各自治体のモニタリング地点(一般環境)は人の生活圏内に設置されてお

り、周辺からの人為的汚染の少ないバックグラウンド地点ではないことから、今回検討した低濃度地点においてさえもそのほとんどの地点で地域内汚染の影響の方が越境移流の影響よりも大きくなっていることが考えられた。

1,2-ジクロロエタンについては、増加傾向にある可能性もあるが、全国的な挙動でも同様であることから現時点で越境移流の影響と判断することはできなかった。

謝辞 本論文は、九州衛生環境技術協議会大気分科会と山口県環境保健センターとの共同調査である「九州・山口地方有害大気汚染物質共同調査」の研究成果の一部をまとめたものであり、データ提供、解析の助言等をいただいた関係機関の皆様には謝意を表します。

—参考文献—

- 1) 岩本真二、大石興弘、田上四郎、力寿雄、山本重一：福岡県における光化学オキシダントの高濃度要因の分類。大気環境学会誌、**43**、173-179、2008
- 2) 大原利真編：光化学オキシダントと粒子状物質等の汚染特性解明に関する研究-国立環境研究所と地方環境研究所とのC型共同研究最終報告(平成19~21年度)。国立環境研究所研究報告第203号、p.55-61、国立環境研究所、茨城、2010
- 3) 九州衛生環境技術協議会大気分科会・山口県環境保健センター：九州・沖縄・山口地方酸性雨共同調査研究第II期調査報告書、p.11-12、2011
- 4) 環境省水・大気環境局大気環境課：「有害大気汚染物質測定方法マニュアル」(平成20年10月)
- 5) METEX (Meteorological Data Explorer)：国立環境研究所地球環境研究センター(<http://db.cger.nies.go.jp/metex/index.jp.html>)
- 6) 環境省 環境保健部環境安全課：PRTR インフォメーション広場 (<http://www.env.go.jp/chemi/prtr/risk0.html>)
- 7) 福崎紀夫：大気中の水銀。大気汚染学会誌 **21**、1-12、1986
- 8) 環境省水・大気環境局：有害大気汚染物質モニタリング調査結果平成21年度調査結果(<http://www.env.go.jp/air/osen/monitoring/index.html>)
- 9) 田島洋介、加藤俊吾、Jeeranut Suthawaree、梶井克純：東京郊外での多成分揮発性有機化合物の長期測定とOH反応性およびオゾン生成ポテンシャルによる大気質評価。大気環境学会誌、**45**、56-65、2010
- 10) 日置正、中西貞博、向井人史、村野健太郎：降水中微量金属元素濃度比と鉛同位体比による長距離輸送と地域汚染の解析。大気環境学会誌、**43**、100-111、2008