

神奈川県における温室効果ガスとしての二酸化炭素濃度の鉛直構造について

相原敬次，阿相敏明，鈴木正明，藤沼康実*
(大気環境部，*国立環境研究所)

Vertical distributions of carbon dioxide as greenhouse gases in Kanagawa Prefecture area

Keiji AIHARA, Masaaki SUZUKI, Toshiaki ASO, Yasumi FUJINUMA*
(Air Quality Division, *National Institute for Environmental Studies)

キーワード：温室効果ガス，二酸化炭素，鉛直分布，神奈川県

1 はじめに

温室効果ガスによる地球温暖化の課題は現在最も関心のもたれている環境問題のひとつである。国際的には1992年に「気候変動枠組条約」が採択され，世界各国が協力して取り組んでいくことが合意され，さらに1997年12月の「第3回締約国会議」(COP3)で先進国の温室効果ガスの排出量削減目標が採択された。日本では1990年10月に「地球温暖化防止行動計画」を定め，2000年以降の二酸化炭素排出量を1990年レベルでの安定化を目標としている。さらにCOP3の京都議定書を踏まえ1998年6月に「地球温暖化対策推進要綱」の策定とともに「地球温暖化対策の推進に関する法律」を制定した。これにより国，地方公共団体，事業者及び国民の責務を明らかにし，地球温暖化対策に係る基本方針とその推進を図ってきた。地方公共団体の責務としては，その区域の自然的社会的条件に応じた温室効果ガスの排出の抑制のための施策を推進を行うとともに，その排出量を算定するなどの実施状況を公表しなければならないとしている。

現在，温室効果ガスの主体をなす二酸化炭素は，地球規模で約7.1Gt-C(71億トン-C)，日本全体で約3.4億トン-C(1997年)，また神奈川県は1897万トン-C(0.1897億トン-C：1996年)と算定されている¹⁾。このうち地球レベルでは毎年約3.2Gt-C(32億トン-C)が大気に残留し，その結果として大気中の二酸化炭素濃度は年に約1.8ppmの割合で上昇してきている。日本における二酸化炭素濃度の年平均値は岩手県陸里で356.7ppm(1990年)から366.0ppm(1996年)へ，また神奈川県の横浜(県庁)で381.0ppm(1990年)から398.0ppm(1996年)へと同様に上昇してきている。神奈川県における二酸化炭素の濃度とその上

昇率が地球レベル，国内レベルに比較して大きいことは，県域の単位面積あたりの発生量も大きいことを示している。今後実施されると予想される二酸化炭素排出量の削減対策にともなって，大気中の二酸化炭素濃度の減少が期待される。そこで，算定される二酸化炭素を排出量に対応した大気中での濃度の変化として検証する必要がある。神奈川県は自動車による交通量も多く，工業地帯，山間地域，海岸地域などをひかえた県域であるため，経年的なモニタリング²⁾や立体構造や分布などから二酸化炭素濃度の動態を詳細に把握しておくことは，今後進められる排出量削減対策を進めていくうえで，有益な基礎資料となるものと考えられる。神奈川県域においてはこれまでに二酸化炭素の濃度に関する調査をいくつか実施してきている。その結果から，二酸化炭素の濃度は窒素酸化物など大気汚染物質と同様の動態を示すことがわかっており，石油や石炭など化石燃料からの排出が大きく影響していることを確認している。^{3,4)}

今回，県内での二酸化炭素の立体構造を把握するため航空機(ヘリコプター)を利用して測定を実施し，その鉛直構造と気象状況との関係について調べた。

2 調査地点および方法等

今回の調査地点は図1に示す内陸部の宮ヶ瀬と海岸部の大磯を設定した。宮ヶ瀬は丹沢大山山地の北東端に位置している宮ヶ瀬湖付近を，また大磯は相模湾に面した大磯港付近を調査地点の中心とした。調査はヘリコプターに搭載した測定機器を用いて，宮ヶ瀬については高度約500mから，また大磯については海上の高度数10mからそれぞれ高度約3000mまでの鉛直方向での測定を実施した。測定項目および方法は表1に示すように，二

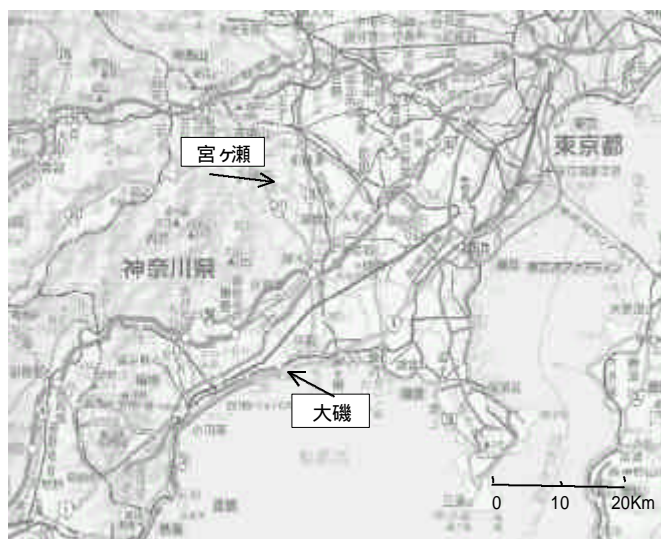


図1 調査地点

酸化炭素濃度，気温，湿度，気圧および位置を連続測定した。さらに測定結果と気象状況との関係を検討するため，日本付近の気圧配置については気象予報支援資料（ASAJMH）を，上層における風向風速については茨城県館野および静岡県浜松における高層気象観測結果を，また地上風については神奈川県の大気汚染常時監視測定地点による結果をそれぞれ利用した。調査は表2に示すように1999年が1月29日および10月29日，2000年が1月14日および5月19日の計4回実施した。なお，測定時の高度はヘリコプター搭載による高度計に準じて飛行し，測定終了後気温と気圧の測定結果から測高公式により算出した。また二酸化炭素の測定は調査ごとに測定開始直前，直後に標準ガス（0ppmおよび370.2ppm）による濃度較正を実施し，調査の前後で濃度の指示値に差がないことを確認した。

表1 測定項目および方法

測定項目	測定機種および方法
二酸化炭素濃度	気圧補正型CO ₂ /H ₂ O アナライザー LI-COR社製 Model LI-6262
気温，湿度	SHINYEI社製 温湿度計 Model TRH-10A
気圧	圧力トランスデューサー Setra社製 Model 270
位置	G P Sナビゲーションシステム Trimpl社製 ScoutMaster

3 調査結果および考察

3.1 二酸化炭素濃度の鉛直分布

各調査日における二酸化炭素濃度の鉛直分布を

表2 調査日時

調査日	時刻		調査コード
	宮ヶ瀬	大磯	
1999年1月29日	10:55-11:02	11:28-11:37	990129
1999年10月29日	13:44-13:55	14:03-14:21	991029
2000年1月14日	13:23-13:32	14:54-15:06	000114
2000年5月19日	13:23-13:34	14:10-14:22	000519

図2に示した。その結果，二酸化炭素濃度は鉛直方向に濃度が著しく変化することが確認された。すなわち，高度の低い部分では概して濃度の変動が著しくかつ高濃度の状況であり，高度の高い部分では濃度が減衰するとともにその変動も小さくなり，ほぼ2500m以上ではほぼ一定になる状況が認められた。今回，高度の低い部分のうち高度500mから1000mを下層域，また高度の高い部分のうち高度2500mから3000mを上層域としてそれぞれ設定し，測定地点間での比較を行った。その結果表3に示すように，下層域の二酸化炭素濃度は宮ヶ瀬と大磯で地点間の濃度の差が認められるものの，上層域では地点間の濃度差がほとんどないことがわかった。このことは，濃度の高い地上付近の二酸化炭素は高度が高くなるにしたがって拡散により濃度が減衰し，高度2500m以上の高い高度では地上での濃度の影響が及んでいないことを示している。

3.2 下層域における二酸化炭素濃度と地上風との関係

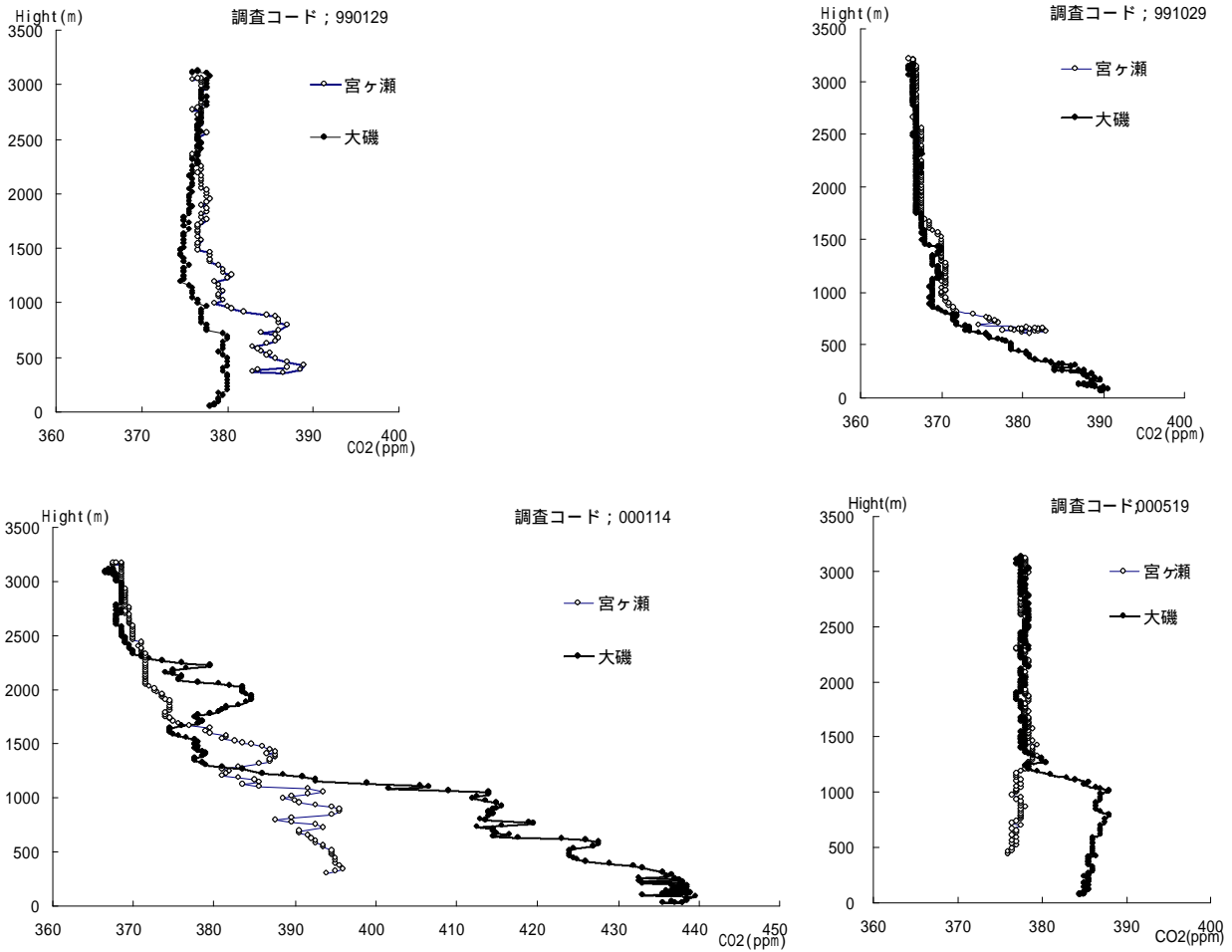


図2 宮ヶ瀬および大磯における二酸化炭素濃度の鉛直分布

表3 上層域および下層域における二酸化炭素濃度の平均値

層域	調査コード	調査地点	CO2 (ppm)	平均高度(m)
上層域	990129	宮ヶ瀬	376.9	2751.1
		大磯	377.0	2750.8
	991029	宮ヶ瀬	367.0	2741.4
		大磯	366.8	2760.1
	000114	宮ヶ瀬	369.3	2752.7
		大磯	368.4	2762.0
下層域	000519	宮ヶ瀬	377.7	2746.6
		大磯	378.0	2782.1
	990129	宮ヶ瀬	384.1	747.1
		大磯	378.2	762.1
	991029	宮ヶ瀬	377.0	735.3
		大磯	372.3	746.5
000114	宮ヶ瀬	392.1	757.7	
	大磯	417.5	746.7	
000519	宮ヶ瀬	377.1	747.0	
	大磯	386.8	735.4	

上層域 高度2500m ~ 3000m 下層域 高度500m ~ 1000m

下層域での二酸化炭素の動態と地上風との関係を検討するため、測定時刻に近い県内の地上風の状況を調べ図3に示した。1999年の1月29日および10月29日は南方向の海風であり、2000年の1月14日および5月19日は北東方向の陸風で、いずれの場合も、風の収束域はみられず、県域一帯にほぼ同様に吹いている状況であった。さらに宮ヶ瀬に近い愛川と大磯に近い平塚での地上風と下層域の二酸化炭素濃度との関係について調べた。その結果、表4に示すように調査コード 990129 および 991029 の場合には大磯での二酸化炭素の濃度は宮ヶ瀬に比較して低く、風向は平塚で SW, SSW, また愛川では SE, S といずれも南方向からの地上風であった。一方、調査コード 000114 および 000519 の場合には大磯での二酸化炭素の濃度は宮ヶ瀬に比較して高く、風向は平塚、愛川のいずれも ENE や NNE と北東方向からの地上風であった。このように、下層域での地点間の濃度差は地上風の風向によって変化することを示し、神奈川県域のほぼ西半分が山域で、二酸化炭素の発生量が県域の東半分の地域に多いことから、下層域の二酸化炭素の濃度

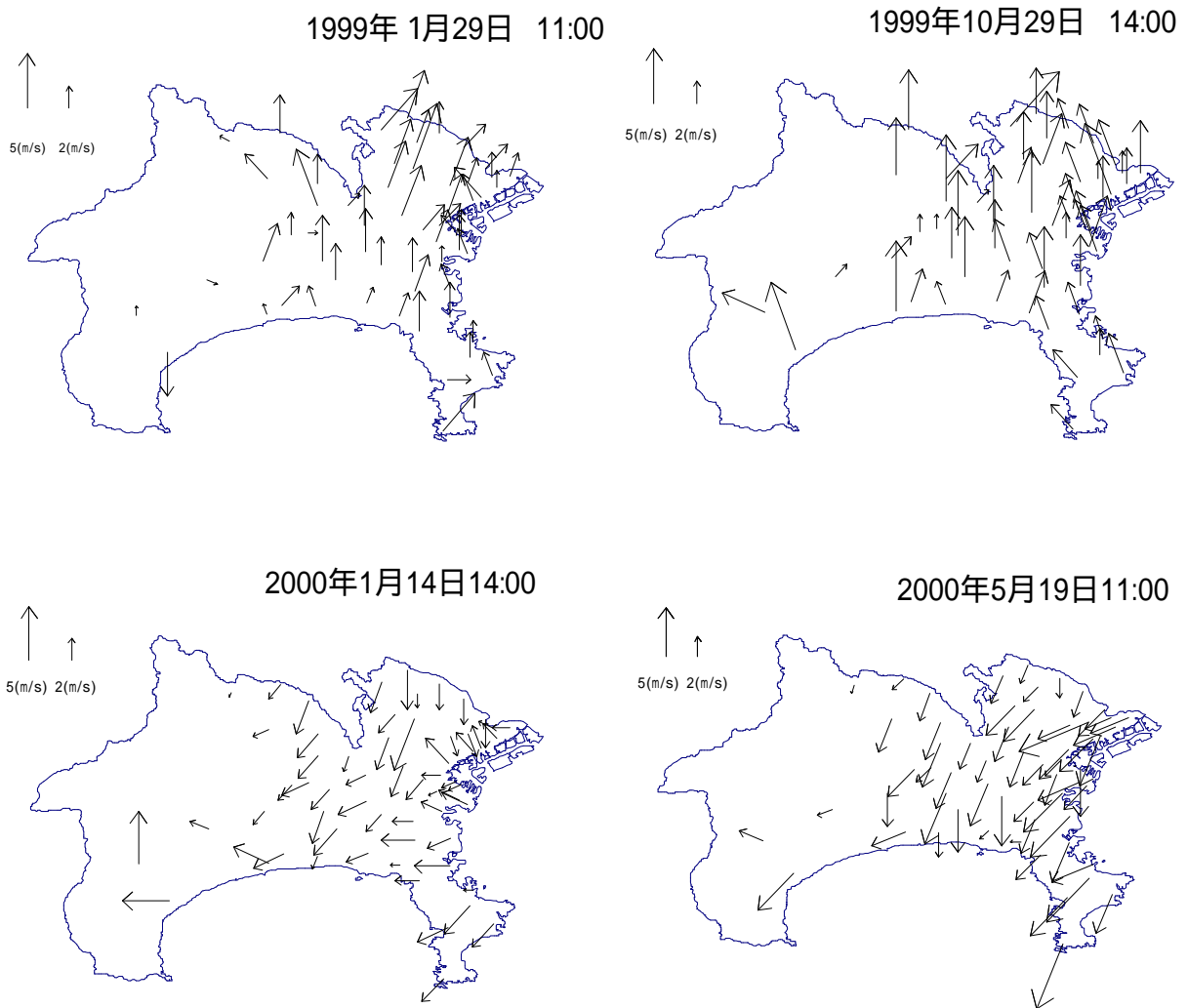


図3 県内の地上風の状況

表4 地上風と下層域の二酸化炭素濃度

調査コード	時刻	地上風				二酸化炭素の平均濃度(ppm)	
		平塚		愛川		宮ヶ瀬	大磯
		風向	風速(m/s)	風向	風速(m/s)		
990129	11:00	SW	2.5	SE	3.2	384.1	378.2
991029	14:00	SSW	3.2	S	5.2	377.0	372.3
000114	14:00	ENE	3.2	ENE	1.8	392.1	417.5
000519	11:00	ENE	3.8	NNE	3.7	377.1	386.8

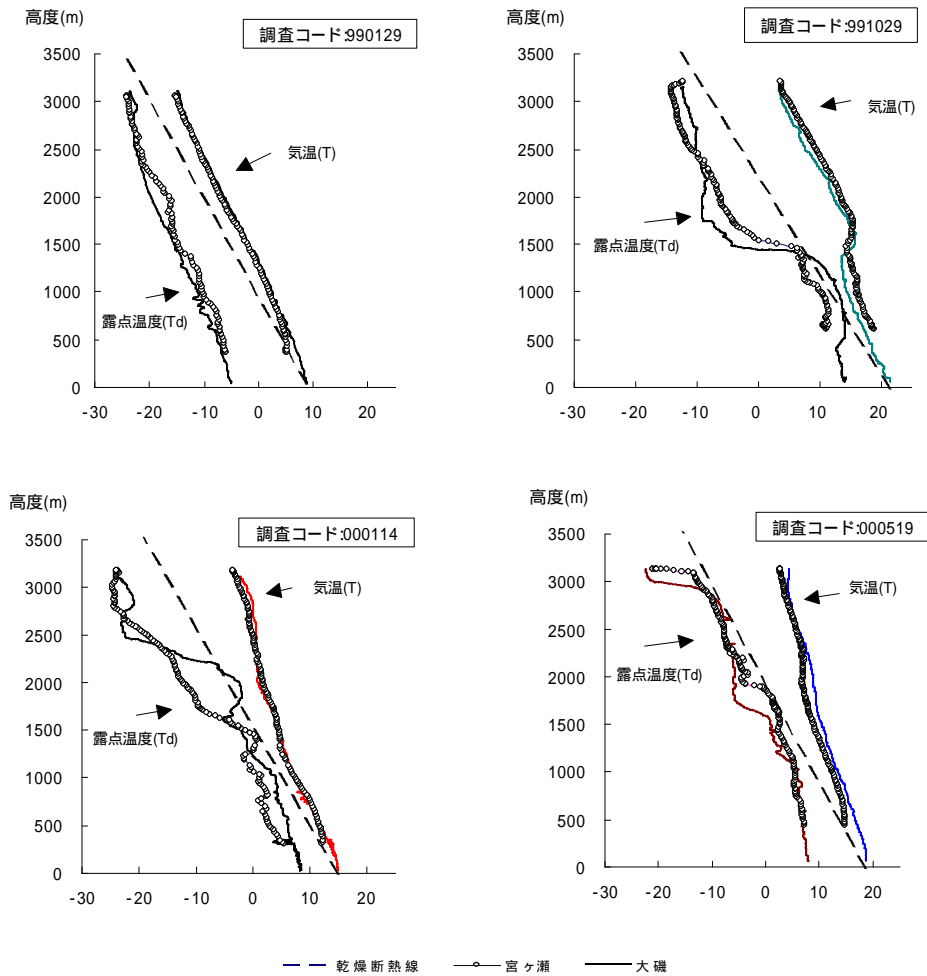


図4 宮ヶ瀬および大磯における露点温度、気温の鉛直分布

表5 上層域および下層域における大気の状態

層域	調査コード	地点	気 温	露 点 温 度	湿 数 ()
			()	()	()
上層域	990129	宮ヶ瀬	-12.9	-22.8	9.9
		大磯	-12.7	-22.7	10.0
	991029	宮ヶ瀬	7.3	-12.5	19.9
		大磯	5.8	-10.8	16.5
	000114	宮ヶ瀬	-0.9	-22.7	21.8
		大磯	-0.1	-22.0	21.9
000519	宮ヶ瀬	4.4	-9.7	14.1	
	大磯	4.6	-10.2	14.9	
下層域	990129	宮ヶ瀬	3.8	-7.9	11.7
		大磯	4.1	-9.7	13.8
	991029	宮ヶ瀬	17.9	11.1	6.8
		大磯	16.2	13.8	2.3
	000114	宮ヶ瀬	9.8	2.0	7.8
		大磯	9.5	4.8	4.7
	000519	宮ヶ瀬	14.0	6.1	7.9
		大磯	15.2	6.4	8.8

は地上での発生源と地上風の影響を直接的に受けていることがわかった。

3.3 上層域における二酸化炭素濃度と気象との関係

上層域での宮ヶ瀬および大磯における二酸化炭素の濃度は表3で示したようにほぼ同濃度であった。しかし、上層域における宮ヶ瀬と大磯の濃度は調査コード 991029 と 000114 の場合には 367ppm 前後と濃度が低く、調査コード 990129 と 000519 の場合は 377ppm 前後と濃度が高く、調査日の違いにより約10ppmの濃度差があることがわかった。この状況について気象との関係を調べた。

3.3.1 宮ヶ瀬、大磯における気温、露点温度の鉛直分布

二酸化炭素濃度と同時に測定した気温および湿度の値から各高度における露点温度 (Td) を算出し、気温および露点温度による大気の状態曲線を調べ、図4に示した。その結

果、いずれの調査日も状態曲線からみた宮ヶ瀬、大磯の両地点の大気の状態はほぼ近似しており両者はほぼ同質な大気であることが確認された。上層域と下層域の大気の状態を比較するため、層域での平均の気温、露点温度とさらに湿数（ $T-T_d$ ：気温－露点温度）を求め、表5に示した。その結果、上層域と下層域の湿数は調査コード 990129 の場合は違いは認められないものの、その他の場合はいずれも下層域に比較して上層域が高くより乾燥状態にあることを示している。すなわち、調査コード990129では、大気の状態が下層から上層までほぼ一様で大気の上下の混合が促進されており、一方その他の調査コードの大気では上下間の大気の混合は促進されにくかったこと示している。このことは、図4の気温の鉛直分布でわかるように調査コード990129以外では上層域と下層域の間で気温の逆転が認められていることから確認された。

3.3.2 日本付近の気圧配置と等圧線から判断される神奈川県地方の一般風と二酸化炭素濃度との関係

地上に近い下層域での風系は海陸風などの局地風の影響が大きい。しかし、高度 2500m から 3000m 付近の大気運動は水平スケールからは 200km から 2000km の中規模スケールに相当し、主に気圧配置に大きく支配される一般風の風系にある。調査日における神奈川県を中心とする上層域での一般風を確認するため当日の天気概況と日本付近の気圧配置を調べた。図5に日本付近の気圧配置と等圧線から判断される神奈川県地方の一般風の風向を示した。また神奈川県地方の天気の状態を以下に述べた。1999年1月29日は、大陸の高気圧の張り出しによって西高東低の典型的な冬型の気圧配置で、県下は全般的に晴れの天気であった。1999年10月29日は、前線通過後の低気圧が北海道沖付た

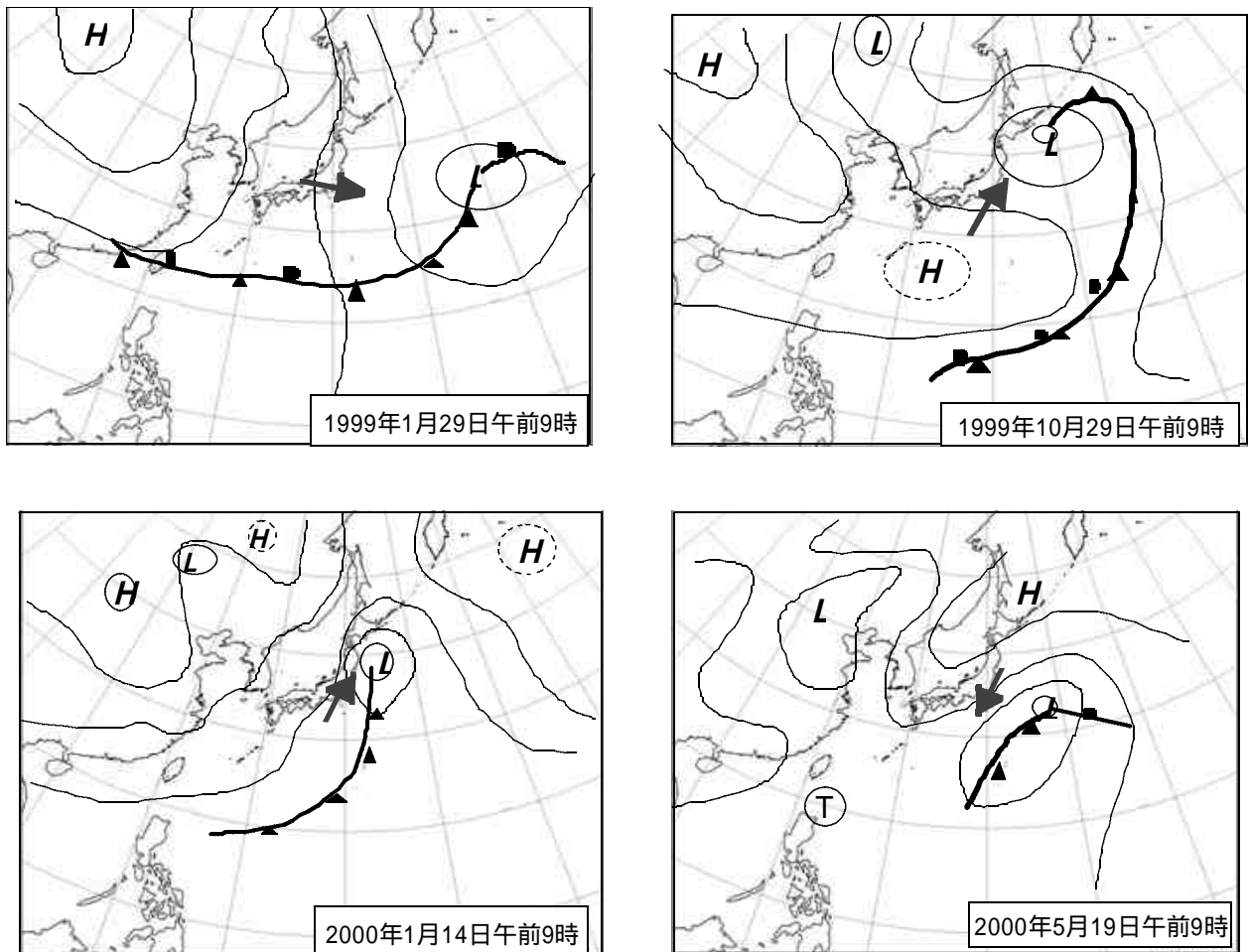


図5 日本付近における気圧配置と神奈川県地方の一般風
 (図中の矢印は気圧配置から判断される神奈川県地方の一般風の風向)

近に進んでいた。県下は南の小笠原近海に中心を持つ高気圧下にあり、晴天であった。2000年1月14日は、西高東低の冬型の気圧配置であったものの、前日に南岸を通過した低気圧が三陸沖に進んでいたが、寒気の南下が弱く、県下は晴れて比較的暖かかった。2000年5月19日の神奈川県地方は北方のカムチャツカ付近に中心をもつ高気圧の影響下にあり、天気は曇りがちで、夕方からは雨になった。南岸を通過した低気圧は日本の東方にあった。このように調査当日の日本付近の気圧配置はその時期の典型的なものであったものの、いずれも低気圧とそれに伴う前線が日本列島の近傍にあり、天気が変わりやすい状況であった。

気圧配置と等圧線から判断される神奈川県地方の一般風の風向は1999年1月29日が西方向、2000年5月19日が北東方向、1999年10月29日および2000年1月14日が南西方向であった。この一般風の風向と表3に示した上層域での二酸化炭素濃度との関係を比較した。二酸化炭素の濃度が高い調査コード990129 および同 000519 の場合は風向が西または北東方向ではあり、濃度が低い調査コード 991029 および同 000114 の場合には風向が南西方向であることがわかり、上層域の二酸化炭素の濃度は一般風の影響を受けること示された。

3.3.3 館野および浜松の高層気象観測結果から推定される神奈川県の上層域の風の状況と二酸化炭素濃度との関係

前項で述べたように神奈川県地方の上層域での風向は日本付近の気圧配置と等高線により判断される一般風により推定された。このことにつてさらに、気象庁の観測地点での館野（調査地点の北東方向約 100km）と浜松（同南西方向約 160km）における高層気象の観測結果を利用して神奈川県の上層域における風向風速の状況について確認した。

館野および浜松における高度 2500m ~ 3000m 付近での気温、露点温度、湿数、風向および風速を

表6に示した。表5に示した神奈川県（宮ヶ瀬および大磯）での上層域の大気の状態との比較を行った。その結果、1999年1月29日（対応する調査コード990129）、1999年10月29日（同991029）および2000年5月19日（同000519）では館野、浜松および神奈川県（宮ヶ瀬および大磯）の3カ所の気温、露点温度および湿数は近似していることが確認された。すなわち、約260km離れた館野と浜松、またこの間に位置する神奈川県の上層域での大気は連続していることを示している。2000年1月14日（対応する調査コード000114）の場合では、神奈川県の上層域は気温が-0.9~-0.1、露点温度が-22.7~-22.0 および湿数が21.8~21.9 に対して、浜松では気温は-1.9、露点温度は-38.6 および湿数は36.7 と大気の状態が顕著に乾燥しており、神奈川県とは異なる大気の状態であったことを示していた。一方、館野では気温は-5.0、露点温度は-24.2 および湿数は19.2 と、気温がやや低い状況が認められるものの、露点温度および湿数の値とも近似しており、神奈川県の上層域での大気との連続性が認められた。このことは図5に示した同日の気圧配置の状況からも判断されるように館野と神奈川県の大気は三陸付近にある低気圧の影響が強く、一方の浜松では大陸の乾燥した高気圧の影響が強かったことを裏付けているものと考えられた。

以上のことから、神奈川県の上層域における大気の状態は館野および浜松、あるいはそのどちらかの地点の大気とは連続し、同質の大気であることが確認された。この結果をもとに館野および浜松における高層気象の上層風観測値から神奈川県の上層域における風の状況を推定した。その結果、図6に示すように神奈川県における上層域における風向は図5で示した日本付近の気圧配置から判断された一般風とほぼ一致し、この風の状態と神奈川県の上層域の二酸化炭素の濃度との関係を調

表6 館野および浜松における上層の大気の状態

年月日	時刻	観測地点	高度 A(m)	気温 T(°C)	露点温度 Td	湿数 T-Td	風向 (方位角)	風速 (m/S)
1999年1月29日	09:00	館野	2757	-15.3	-23.3	8.0	WSW (243)	13
1999年1月29日	09:00	浜松	2758	-15.3	-22.7	7.4	WNW (298)	23
1999年10月29日	09:00	館野	2702	5.3	-15.0	20.3	WSW (255)	9.5
1999年10月29日	09:00	浜松	2675	5.8	-10.4	16.2	WSW (252)	8
2000年1月14日	09:00	館野	2728	-5.0	-24.2	19.2	W (265)	16
2000年1月14日	09:00	浜松	2737	-1.9	-38.6	36.7	WNW (284)	29.5
2000年5月19日	09:00	館野	2784	1.7	-18.1	19.7	NE (45)	5
2000年5月19日	09:00	浜松	2786	3.4	-17.8	21.2	WNW (303)	5

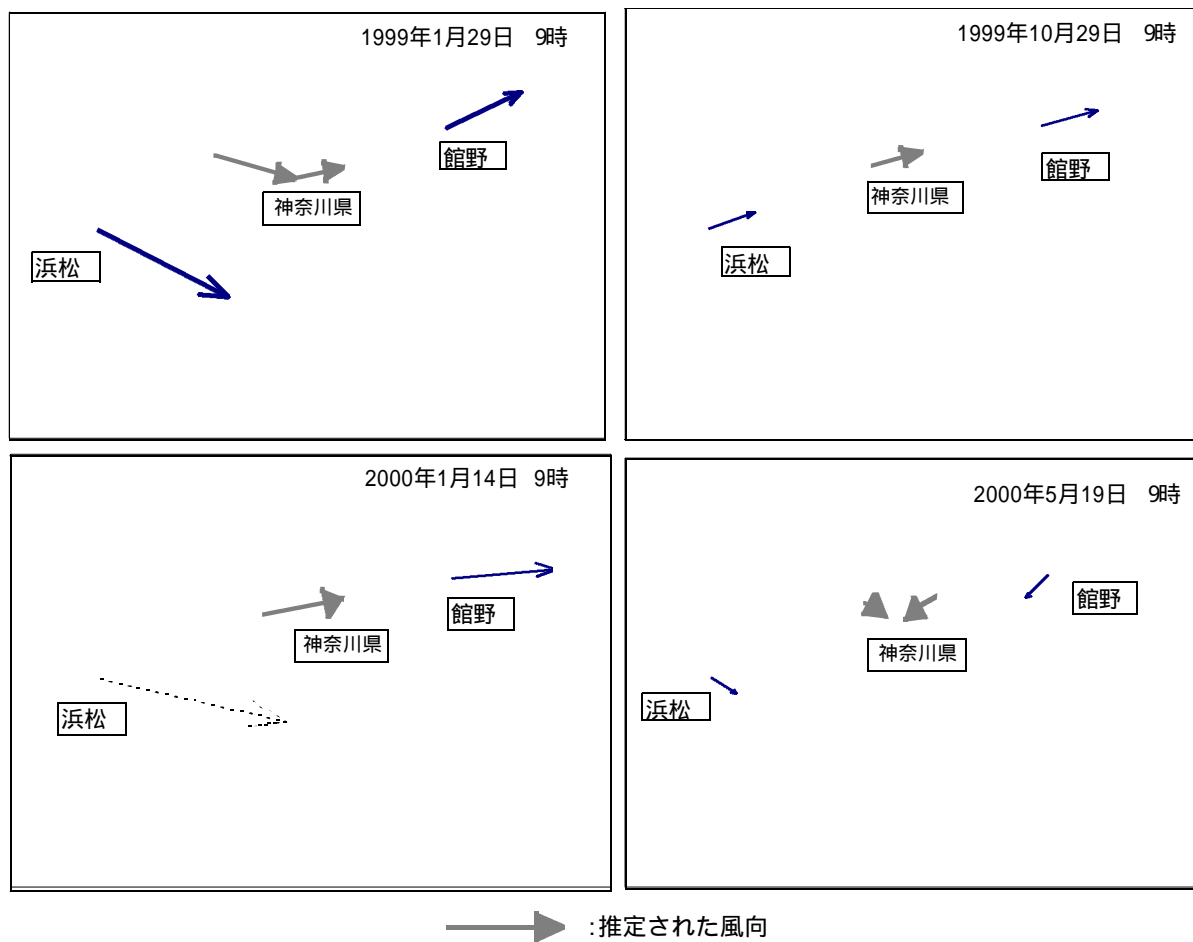


図6 上層域における風向・風速の状況

べた。その結果、二酸化炭素濃度が高い場合には神奈川県上層の風は北西方向から入り北東方向へ流れている状況や（調査コード 990129）風速が弱く、北西方向と北東方向の風が神奈川県上空に流れている状況（調査コード 000519）であることがわかった。一方、二酸化炭素濃度が低い場合は神奈川県上層の風向が南西方向からの状況（調査コード 991029 および 000114）であった。この結果は前項の気圧配置と等圧線から判断された一般風の流れとほぼ一致していることが確認できた。そして神奈川県の上層域での二酸化炭素濃度との関係は、一般風の影響下にある二酸化炭素濃度は北西から北東方向の陸上経由の大気が南西方向からの海洋経由の大気に比較して低濃度傾向にあることを示唆しているものと考えることができた。

4 まとめ

今回、県内での二酸化炭素の立体構造について把握するため航空機（ヘリコプター）を利用して測定を実施しその鉛直構造および気象状況との関係について検討した結果以下のことがわかった。

（１）県内の二酸化炭素濃度の鉛直構造は、一般的に高度の低い部分で濃度が高く、高度が増すにしたがって減衰し、高度がほぼ 2500m 以上では一定になった。

（２）高度500mから1000mの部分（下層域）と高度2500mから3000mの部分（上層域）を設定し、両者の比較をした結果、下層域での二酸化炭素の濃度は地上からの発生源や地上風による影響を直接的に受けていた。

（３）上層域の二酸化炭素濃度は調査日によって濃度が低い場合（367ppm 前後）と高い場合（377ppm 前後）があった。

（４）上層域での二酸化炭素の濃度は、日本付近の気圧配置から判断される一般風が神奈川県地方では西から北方向の場合に濃度が高く、南西方向の場合に低くなった。

（５）調査地点の北東方向に約 100km 離れた館野と南西方向に約 160km 離れた浜松における高層気象観測の値からこの間に位置する神奈川県（宮ヶ瀬および大磯）における上層域の大気の状態を比較した。その結果、神奈川県の上層域における大

気は、調査日によって館野および浜松あるいはそのどちらかの大気の状態と近似していた。

(6) 館野、浜松の上層風観測値から推定された神奈川県地方の上層域の風向は日本付近の気圧配置から判断される一般風とほぼ一致した。

(7) 神奈川県の上層域での二酸化炭素濃度との関係は、一般風の影響下にある二酸化炭素濃度は北西から北東方向の陸上経由の大気が南西方向からの海洋経由の大気に比較して低濃度傾向にあることを示唆しているものと考えることができた。

参考文献

- 1) 神奈川県：かながわ環境白書,平成 10 年度,226 ~ 227(1998)
- 2) 鈴木正明:神奈川県環境科学センター研究報告,第 16 号,8 ~ 13, (1993)
- 3) 中澤 誠,牧野 宏,才木義夫:神奈川県試験連絡協議会共同研究報告,第 17 号,11 ~ 17, (1985)
- 4) 相原敬次,阿相敏明,鈴木正明,片桐佳典,藤沼康実:神奈川県環境科学センター研究報告,第 21 号,12 ~ 17, (1998)

経常研究 [平成10~13年度]

課題名：温室効果ガスの県内地域分布の解明及び移動発生源からの排出に関する研究