

熊本市における高濃度光化学オキシダントの発生メカニズム解析Ⅱ

福田照美 坂口美鈴 東瀬健二* 丸山龍也 津留靖尚

*平成22年3月退職

1 はじめに

近年、全国的に光化学オキシダント（以下 O_x と略す。）の濃度上昇が報告されており、熊本市でも錦ヶ丘局において、平成18年6月7日に初めて O_x 注意報（0.120ppm を超過）が発令された。高濃度 O_x の発生要因を解明するため、当所は平成19～21年度の3年間、国立環境研究所と地方環境研究機関（参加機関50）との共同研究「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」に参加した¹⁾。

この研究を開始した平成19年度には、熊本県内の天草市河浦町や苓北町、菊池市で計4日延べ7回注意報が発令された。平成20年度は菊池・阿蘇地域で5月27日予報（0.100ppm を超過）が出され、平成21年度には菊池・阿蘇地域で5月8日、宇城・上益城地域で5月9日に注意報が出された。

この間の九州地域における O_x 注意報発令日の状況を表1に示すが、年々注意報レベルの高濃度の出現頻度が増加しており、平成21年度は5月8日36局、5月9日28局と広範囲にみられた²⁾。

これらの九州地域における高濃度 O_x の特徴は、大都市や工業地帯だけでなく離島である五島（長崎県）や天草（熊本県）など周辺に汚染源が少ない場所や菊池市（熊本県）など内陸の中小都市でも注意報レベルに達することである。本市では平成18年6月7日以降予報や注意報は出されていないものの、0.100ppm 前後の高濃度 O_x が毎年観測されている。

今回、熊本市における高濃度 O_x の発生メカニズムについて新たな知見が得られたので報告する。

表1 九州での O_x 注意報発令日の状況

No.	年月日	O_x 0.12ppm 以上の局数	O_x 日最高値(ppm) (県名;局名)
1	平成18年5月30日	1	0.120 (長崎;小佐々)
2	平成18年6月7日	2	0.123 (熊本;錦ヶ丘)
3	平成19年4月26日	3	0.145 (長崎;五島)
4	平成19年4月27日	10	0.151 (長崎;五島)
5	平成19年5月8日	22	0.153 (福岡;塔野)
6	平成19年5月9日	6	0.135 (福岡;塔野)
7	平成19年5月27日	14	0.141 (福岡;松ヶ江)
8	平成20年5月22日	3	0.132 (福岡;江川)
9	平成20年5月27日	2	0.131 (福岡;小郡)
10	平成21年5月8日	36	0.155 (佐賀;唐津)
11	平成21年5月9日	28	0.152 (福岡;香椎)

2 調査解析方法等

(1) 解析期間

平成 2～21 年度の 20 年間のデータのなかで、 O_x 濃度が高くなる 4～6 月のデータを主に解析した。

(2) 調査解析項目と方法

O_x 濃度、窒素酸化物（以下 NO_x と略す。）濃度、風向・風速、気温、全天日射量、天気図、煙霧・黄砂情報、後方流跡線について解析を行った。なお、 O_x 濃度、 NO_x 濃度、風向・風速は熊本市と熊本県の大気常時監視測定局のデータを、気温、全天日射量、煙霧・黄砂情報は熊本地方気象台³⁾のデータを、天気図は気象人⁴⁾を引用した。後方流跡線は NOAA HYSPLIT MODEL⁵⁾の確定値を使用し、高度 500m、72 時間遡り、熊本市の大気の流れを検討した。（後方流跡線とは、大気塊の移動軌跡をヨーロッパ、アメリカ、日本の気象データからリアルタイムに予測するシステムである。）さらに、共同研究において作成した O_x 濃度分布図と地上風向風速ベクトル図を使用した（図 1）。

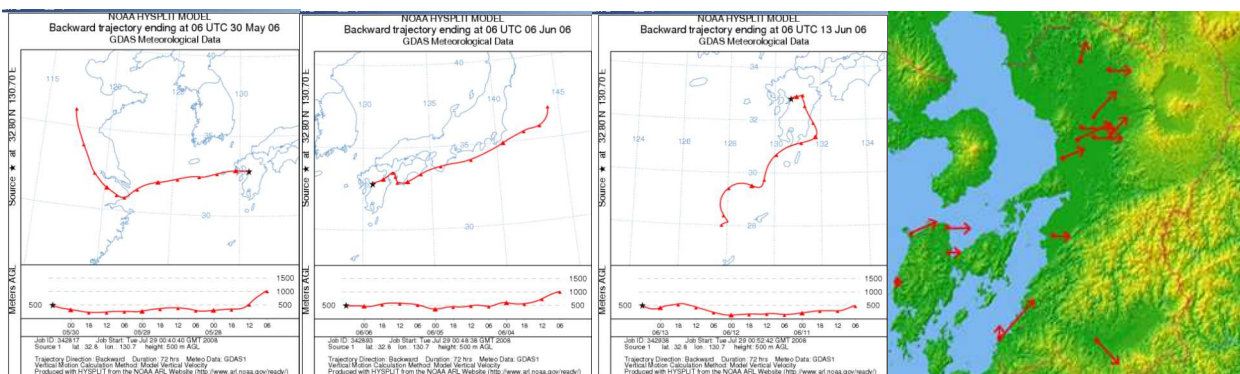


図 1 後方流跡線の例(左；中国由来、中；本州・太平洋由来、右；日本南部の海域由来)と地上風向風速ベクトル図

(3) 調査解析対象測定局

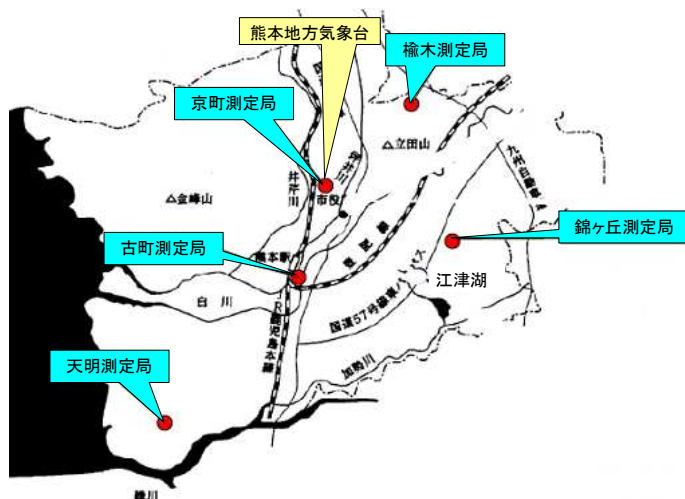


図 2 熊本市の大気測定一般環境局と熊本地方気象台の配置図

図 2 に熊本市の一般環境局 5 局の位置を示す。古町局は古町小学校内、錦ヶ丘局は東部保健センターの屋上、天明局は水道局天明配水場敷地内、榎木局は榎木小学校内に設置されている。京町測定局は平成 17 年 4 月に花畑町測定局を移管し京陵中学校内に設置されており、熊本地方気象台は京町局と隣接している。

3 解析結果及び考察

(1) 熊本市の 0x 濃度の推移

本市では、図 3 に示すように、平成 2～21 年度にかけて 0x 濃度の年平均値は全局で増加しており、5 局の平均値は平成 2 年度の 0.019ppm から平成 21 年度の 0.029ppm と 1.5 倍に上昇していた。特に平成 17 年度から 19 年度にかけては 0.018→0.027ppm と顕著に上昇し、その後もほぼ同じ濃度で推移していた。また、4～6 月においては 5 月の濃度上昇が顕著であり、0.026→0.046ppm と 0.020ppm 増加していた。

0x 年最大値は、平成 18 年度に錦ヶ丘局において 0.123ppm が発生しており、その後最大値は全局で低下しながらも、0.100ppm 前後で推移した。

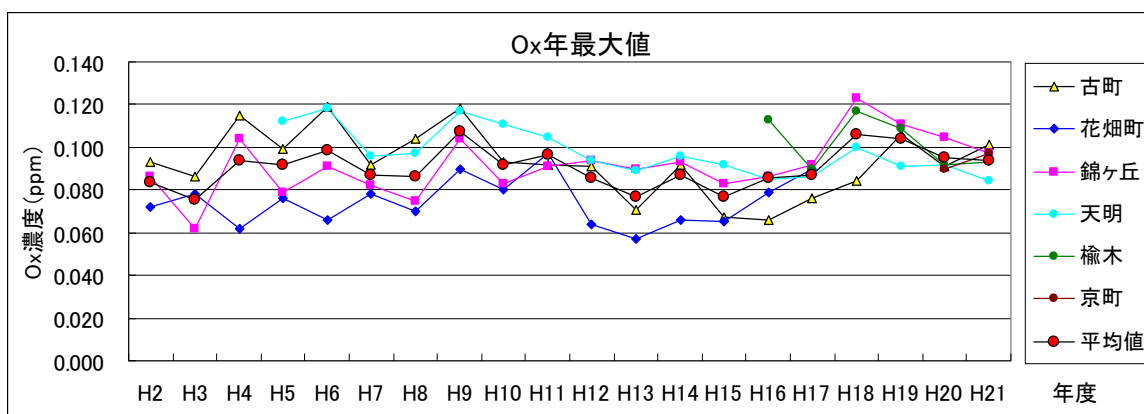
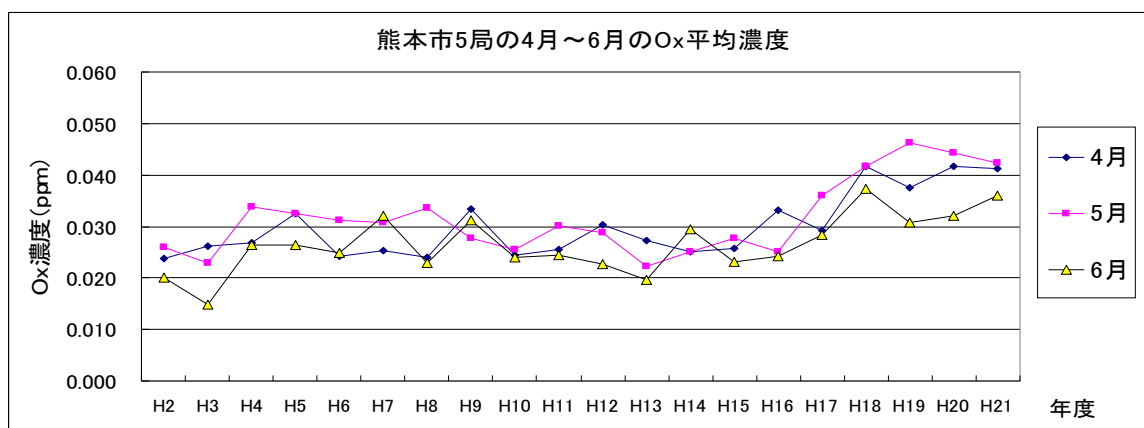
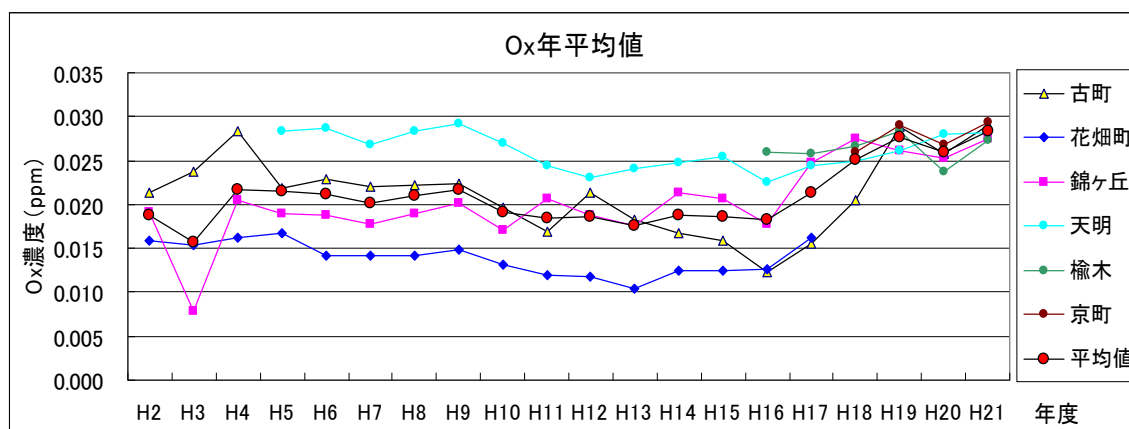


図 3 熊本市の 0x 年平均値（上）と 4～6 月の 0x 平均濃度（中）と 0x 年最大値（下）の推移

本市の O_x 発生要因としては、既報⁶⁾で次の二つが関与していることを明らかにした。一つは、気温や風速などの自然的要因や NO_x 等の人為的要因による地域発生的なメカニズムであり、もう一つは大陸からの移流の影響があることを報告した。

その後も日射量の月平均値は図 4 に示すように、増減を繰り返しながら上昇し、増加率は 4 月 ($+0.15\text{MJ}/\text{m}^2/\text{年}$)、5 月 ($+0.54\text{MJ}/\text{m}^2/\text{年}$)、6 月 ($+0.32\text{MJ}/\text{m}^2/\text{年}$) と 5 月が顕著であった。日最高気温の月平均値も同様に上昇し、増加率は 4 月 ($+0.07^\circ\text{C}/\text{年}$)、5 月 ($+0.32^\circ\text{C}/\text{年}$)、6 月 ($+0.54^\circ\text{C}/\text{年}$) と 6 月が顕著であった。

NO_x 濃度については減少傾向が続いており (図 5)、全局年平均値は平成 2 年度の 0.034ppm から平成 21 年度の 0.016ppm におよそ 1/2 に減少していた。注意報が発令された錦ヶ丘局でも 4~6 月の午前 6~9 時の NO_x 濃度は、平成 19 年度まで 0.020ppm 前後でほぼ横ばいで推移していたが、20 年度以降は減少し、21 年度は 4 月 0.021ppm 、5 月 0.016ppm 、6 月 0.014ppm とさらに減少した。

しかし、このように NO_x 濃度が減少しているにもかかわらず、錦ヶ丘局における 4~6 月の風向別 O_x 総濃度は、平成 2 年度と比較すると、図 6 に示すように西と西南西の方向において平成 17 年度以降顕著に増大し、注意報が発令された平成 18 年度は濃度が最大になっていた。

方向別にみると、西からの方向の総濃度は平成 2 年度 (5.8ppm) から平成 18 年度 (17.8ppm) におよそ 3 倍に増加し、西南西の方向は平成 2 年度 (9.1ppm) から平成 18 年度 (16.3ppm) におよそ 2 倍に増加し、その後も平成 21 年度にかけて高濃度で推移した。他の 4 局についても同様の解析を行ったところほぼ同等の結果となり、図 7 に示すように、近年の熊本市の大気環境は、20 年前と比較すると O_x による西と西南西の大陸方向からの汚染が顕著に増大している現状が明らかになった。

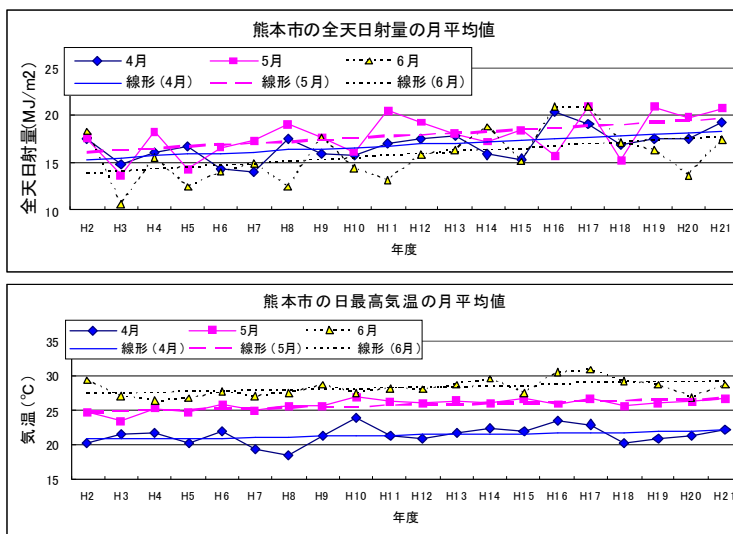


図 4 熊本市の全天日射量と日最高気温の経年変化

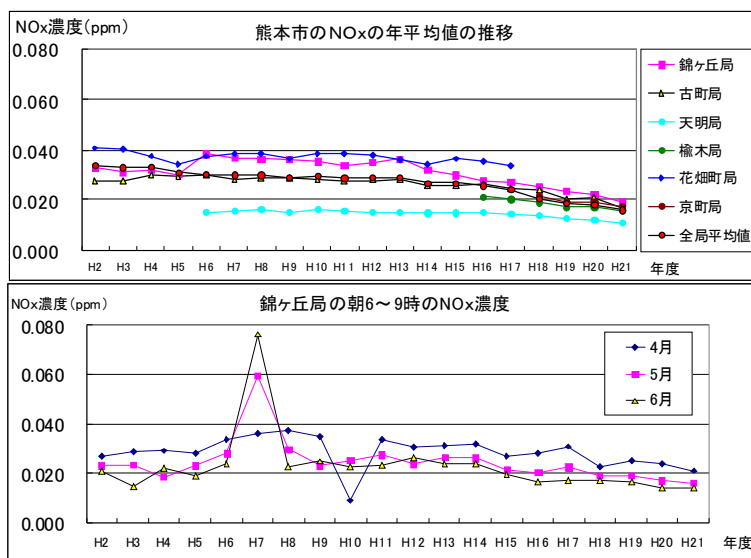


図 5 熊本市の NO_x 濃度の年平均値と錦ヶ丘局の 6~9 時の NO_x 濃度の経年変化

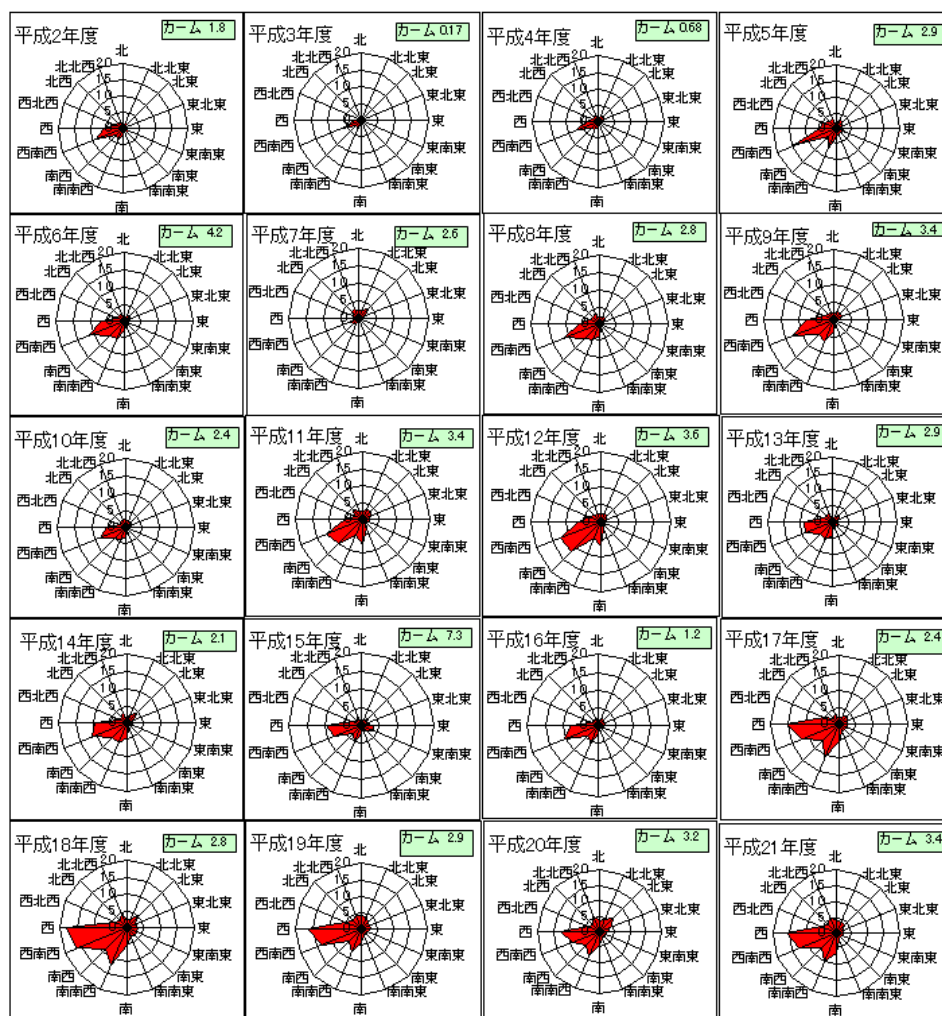


図6 平成2～21年度までの4月～6月の錦ヶ丘局の風向別O₃総濃度 (ppm)

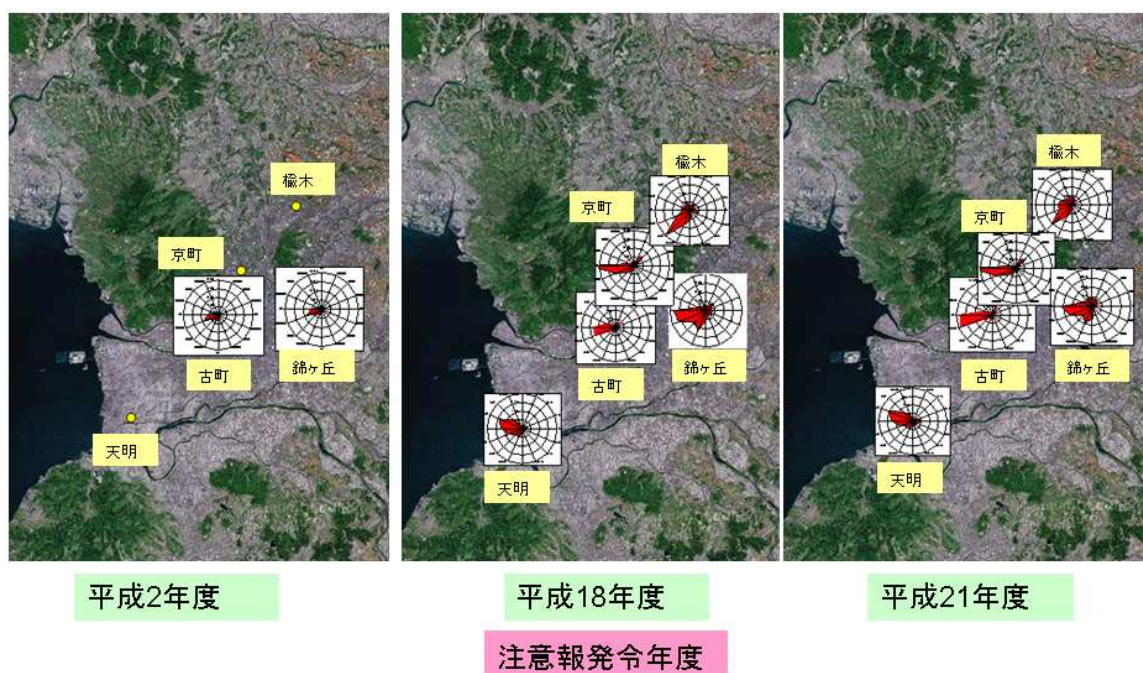


図7 熊本市の4～6月の風向別O₃総濃度の変化

(2) 流跡線方位別分類

これらの大陸からの影響をみるために、NOAA HYSPLIT MODEL のデータから平成 18～21 年度の 4～5 月の 15 時における後方流跡線を、熊本市を起点として、高度 500m、72 時間遡り作成し、大気の流れを検討した。図 8 に示すように方位別分類を 8 方位で行い、大陸方向からの影響を受けた日（北北西+西北西+西南西）、本州・太平洋からの影響を受けた日（北北東+東北東）、日本南部の海域（南南西+南南東）の 3 つに分類した。

本市における大陸方向からの流れの割合は、図 9 に示すように平成 18 年度は北北西 35%、西北西 20%、西南西 5%の合計 60%であった。同様に平成 19 年度は北北西 43%、西北西 28%、西南西 5%の合計 76%で、平成 20 年度は北北西 35%、西北西 15%の合計 50%であった。平成 21 年度は北北西 38%、西北西 18%の合計 56%であり、この 4 年間の中で、平成 19 年度が最も割合が高く、他の年もこの時期は、広範囲に大陸からの影響を受けていると考えられた。

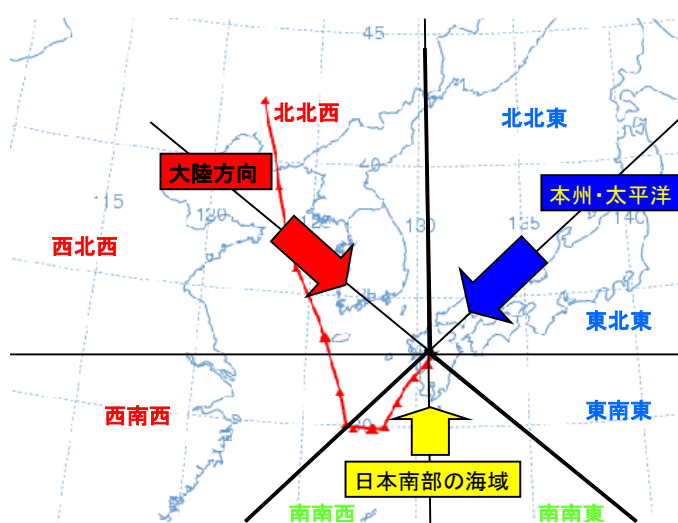


図 8 熊本市の後方流跡線の方位別分類

次に、錦ヶ丘局の 0x 濃度の日平均値に、後方流跡線の方位頻度を乗じて算出した濃度を方位割合別に解析し、0x 濃度に対する寄与率として算出した（図 9）。その結果、大陸方向からの 0x 濃度に対する寄与率は平成 18 年度は北北西 34%、西北西 22%、西南西 6%の合計 62%であった。同様に平成 19 年度は北北西 43%、西北西 31%、西南西 6%の合計 80%で、平成 20 年度は北北西 36%、西北西 16%の合計 52%であった。平成 21 年度は北北西 38%、西北西 19%の合計 57%であり、風向別 0x 総濃度と同様に、広範囲に大陸からの影響を受けていると考えられた。

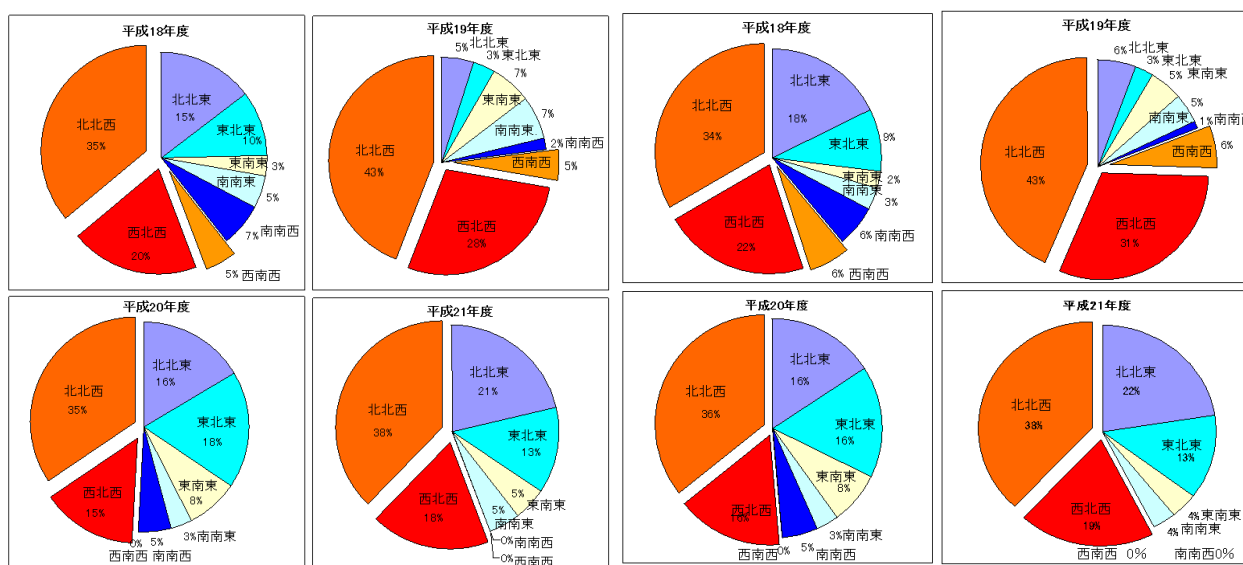


図 9 熊本市の後方流跡線の方位割合（左）と 錦ヶ丘局の 0x 濃度の寄与率（右）

(3) 熊本市の近年の高濃度 O_x 観測状況

本市は平成 18 年度以降、予報レベル（0.100ppm）以上の O_x 高濃度事例が毎年発生しており、これらの事例の 16 例について解析を行った。16 事例の地上風向風速ベクトル図、O_x 濃度分布図、後方流跡線、天気図を参考資料 1 に掲載した。なお、O_x 濃度分布図を赤丸で囲んでいる日は九州での O_x 注意報発令日を示す。

共同研究における九州地域ブロックの解析では、下記のような要件を満たす場合を東アジアからの移流の影響を受けている日と判断した^{6,7)}。

- ①0.120ppm を超える局が多数ある。
- ②移動性高気圧が九州南部を通過している。
- ③夜間に 0.080ppm を超えるような高濃度が出現している。
- ④硫酸塩の濃度が $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える。
- ⑤壱岐や五島で 0.120ppm を超えている。

その結果、16 事例のうち 6 事例（5 事例は九州地域で注意報発令事例）は移流としての特徴が見られる日と判断されており、他の 10 例は地域発生によるものと推定され、平成 18 年 6 月 7 日に錦ヶ丘局で注意報が発令された事例は地域発生によるものと判断された（表 2）。一方、平成 19 年 5 月 27 日と 28 日、21 年 5 月 8 日には高濃度 O_x と共に黄砂も観測され、大陸からの影響を示唆していた。

表 2 熊本市における高濃度 O_x 発生要因分類

No.	日	後方流跡線の方位・煙霧・黄砂	熊本市O _x 最大値(ppm)	最高 気温 (°C)	全天 日射量 (MJ/m ²)	大気の状態 (風向・風速)	高濃度O _x の 要因
1	H18/5/20	日本海	0.108(錦ヶ丘)	26.1	19.8	風速大・西風	地域発生
2	H18/5/21	朝鮮半島・煙霧	0.109(錦ヶ丘)	28.5	21.3	風速小	地域発生
3	H18/5/24	朝鮮半島・煙霧	0.105(錦ヶ丘)	29.3	27.5	風速大・西風	地域発生
4	H18/5/30	中国・煙霧	0.123(錦ヶ丘)	27.7	25.8	風速大・南西風	移流
5	H18/6/1	東シナ海・煙霧	0.105(錦ヶ丘)	29.7	17.4	風速小・南風	地域発生
6	H18/6/3	太平洋ベルト地帯・中国四国地方	0.109(錦ヶ丘)	31.1	26.6	風速大・東風	地域発生
7	H18/6/4	太平洋ベルト地帯・中国四国地方・煙霧	0.104(錦ヶ丘)	29.1	15.1	風速小・渦巻き	地域発生
8	H18/6/6	太平洋ベルト地帯・中国四国地方・煙霧	0.123(錦ヶ丘)	32.5	23.3	風速小・渦巻き	地域発生
9	H18/6/7	朝鮮半島・煙霧	0.123(錦ヶ丘)	32.2	24.6	風速小・渦巻き	地域発生
10	H18/6/13	日本南西部の海域・煙霧	0.102(錦ヶ丘)	32.3	23.8	風速小・渦巻き	地域発生
11	H19/5/8	中国・煙霧	0.105(錦ヶ丘)	28.2	25.7	風速大・西風	移流
12	H19/5/9	朝鮮半島・煙霧	0.105(錦ヶ丘)	27.1	24.8	風速大・南西風	移流
13	H19/5/27	中国・黄砂	0.111(錦ヶ丘)	31.6	24.3	風速中・西風	移流
14	H19/5/28	中国・黄砂	0.110(錦ヶ丘)	32.7	23.6	風速小・渦巻き	移流
15	H20/6/7	中国・煙霧	0.105(錦ヶ丘)	25.4	9.8	風速小	地域発生
16	H21/5/8	中国・黄砂	0.101(古町)	28.2	26.75	風速大・北西風・南西風	移流

丸印は九州でのO_x注意報発令日

(4) 地上風向風速ベクトル解析

今回、地域発生と推定された事例において、発生当日の風速が小さいという特徴がみられたことから、地上風向風速ベクトル図を用いて解析を行った。

注意報発令日である平成 18 年 6 月 7 日は地域発生事例と判断されているが、この日は朝 7～11 時まで無風状態が続き、12 時から風がやや起こり始め、13 時から半時計回りに金峰山の東側で渦を巻き始め、14 時も同じ様に渦を巻いていた。一方、気温は 13 時に 30.5℃に上昇し、日射も真夏の昼間にみられる 3.19MJ/m²と非常に強く、14 時に O_x は 0.123ppm に上昇し、注意報が発令された（図 10）。この日は天気図上に高気圧はみられておらず、等圧線の間隔が広くなっており、風速が弱い状態であった（参考資料 1）。なお、本市で地域発生的に高濃度 O_x が観測された 10 事例のうち、7 事例がこのケースと類似しており、金峰山の東側の渦巻きが 4 例、風速が弱い事例が 3 例みられた。（図 11）。

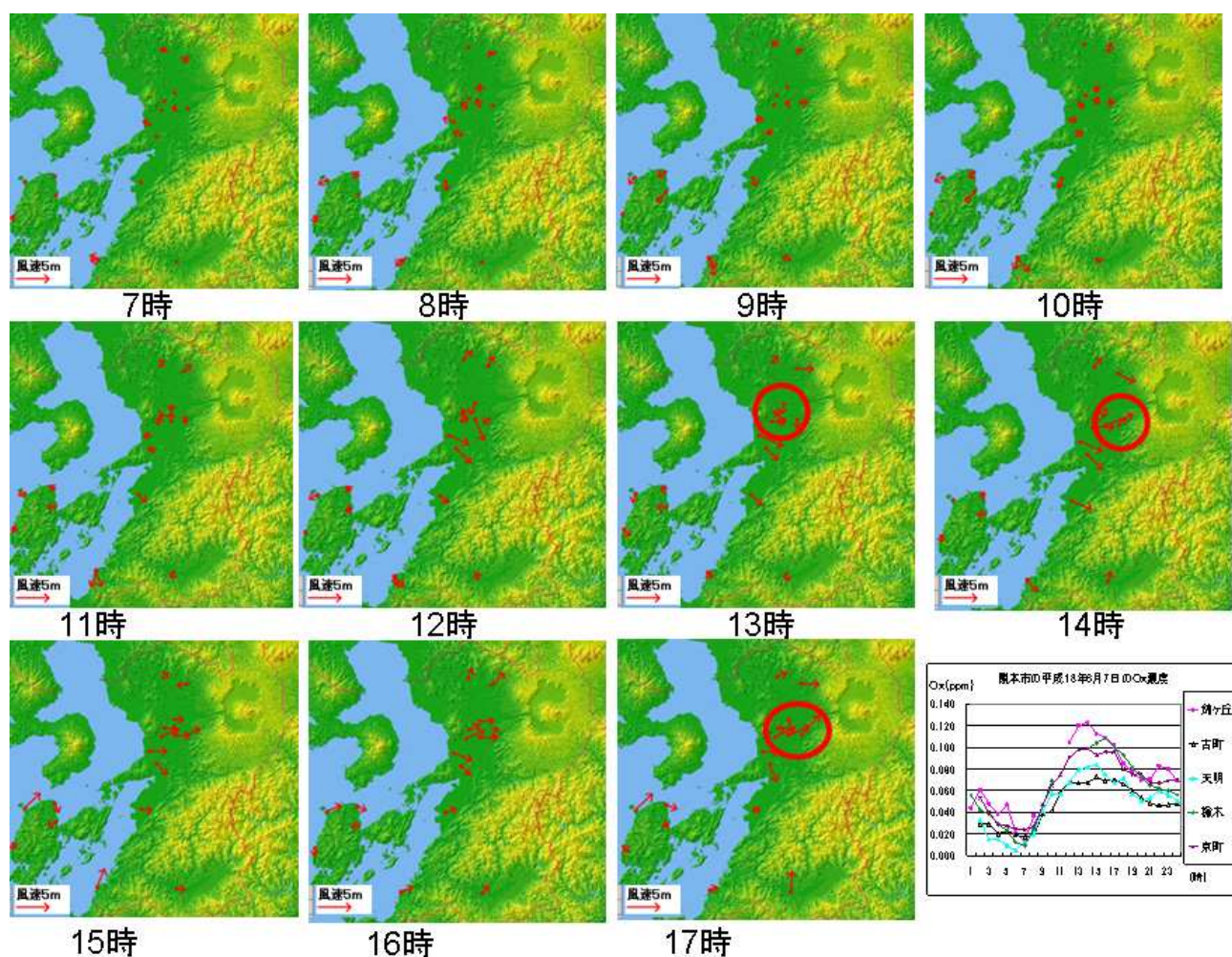


図 10 平成 18 年 6 月 7 日の地上風向風速ベクトル図と O₃ 濃度

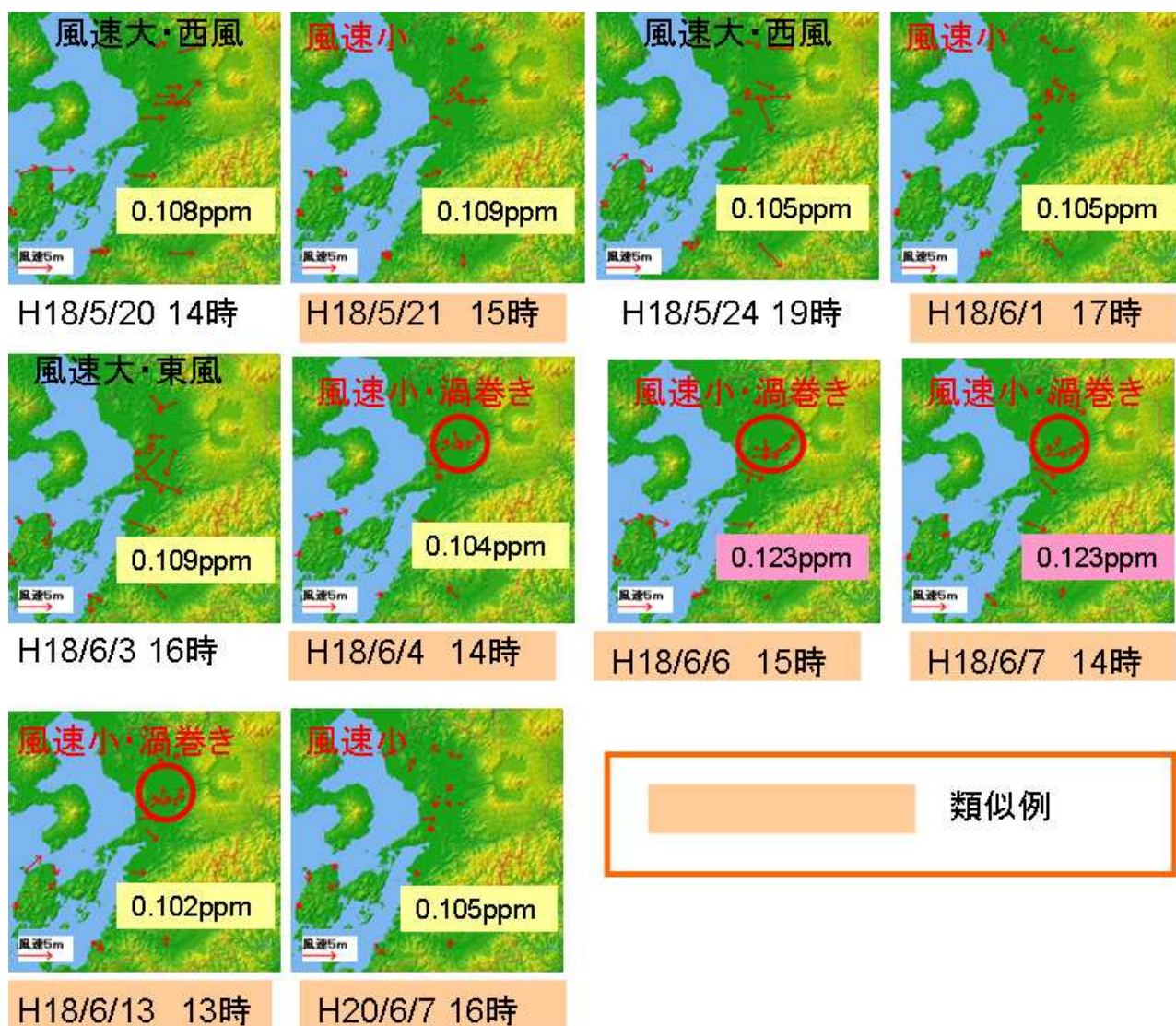


図 11 地域発生による高濃度 0x を示した時間の地上風向風速ベクトル図

一方、移流による影響を受けていると判断された平成 21 年 5 月 8 日は、図 12 に示すように 7～9 時まではほとんど無風状態であるが、10 時以降、西風が起こり、13 時から風が強くなり、17 時まで風速 2～5m 弱で推移した。この日の気温は 28.2℃まで上昇し、13 時には日射も 3.44MJ/m²と非常に強かったが、平成 18 年 6 月 7 日にみられたような渦巻き状態はみられず、風速が大きいことから市域に高濃度 0x が滞留せずに拡散し、18 時に 0x 濃度 0.101ppm を示すものの、注意報レベルまで濃度は上昇しなかった（参考資料 1）。

このように、本市では高濃度 0x を示す場合、地域発生では金峰山の東側で渦を巻き、風速が弱い等の現象から高濃度 0x が滞留し、大陸からの移流では、西風が起こり、風速が大きく 0x が拡散していくと思われる。

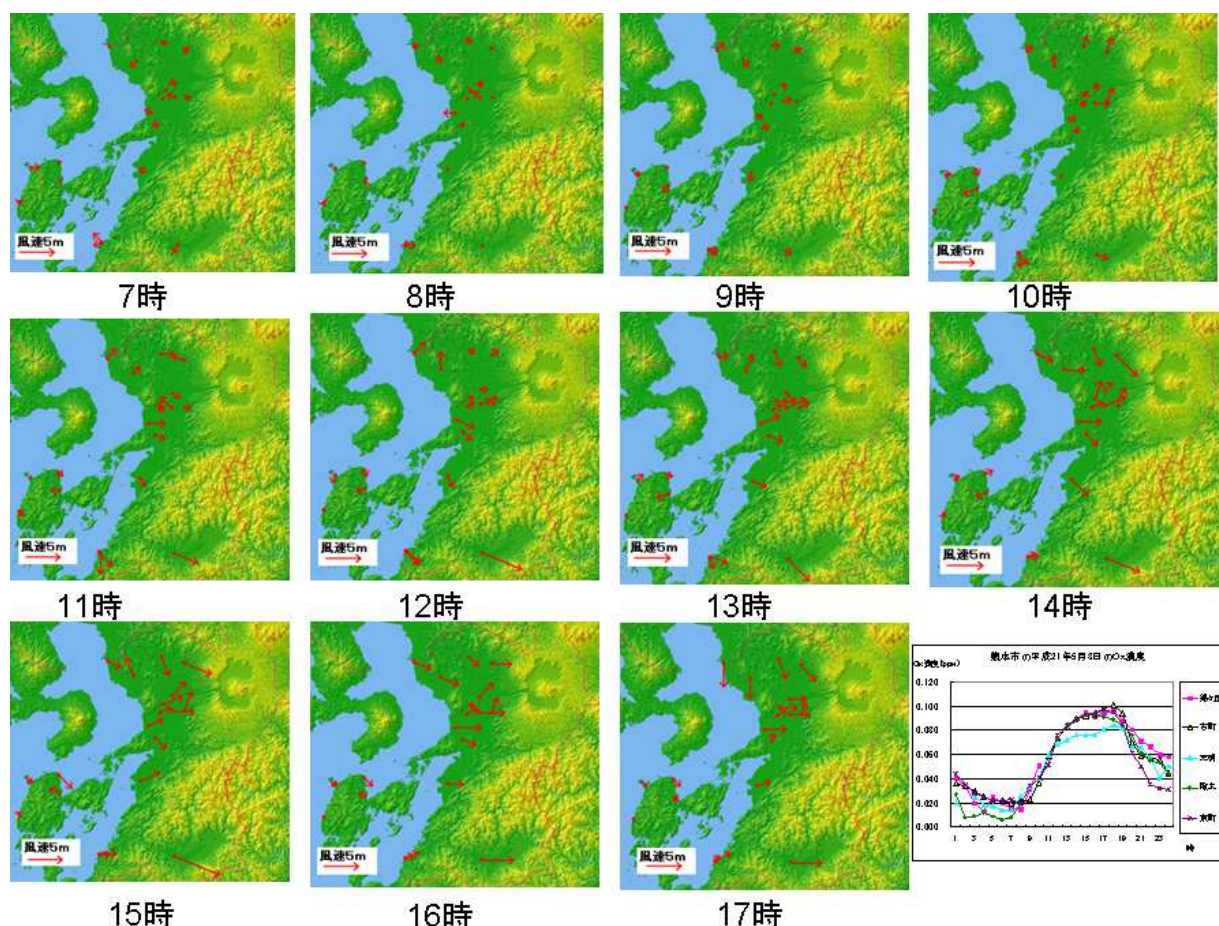


図 12 平成 21 年 5 月 8 日の地上風向風速ベクトル図と Ox 濃度

4 まとめ

平成 18 年度以降、大陸からの移流の影響により九州各地で 0x 注意報が発令され、県内でも次々と注意報が発令されている。しかし、本市では前述したように、平成 17 年度以降、0x による大陸方向からの汚染が増加し、影響を広範囲に受けているものの、移流による注意報発令に至るまでの高濃度事例は発生していない。本市は阿蘇火山と西側の金峰山系（665m）との接合地帯の上に位置し、数多くの山岳、丘陵、台地等によって四方をかこまれており（図 13）、特に西側に金峰山や有明海を挟んで普賢岳（1359m）があり、大陸からの影響を直接受けにくい地形となっている。このため、平成 21 年 5 月 8 日のように九州各地 36 局で注意報が発令されるような高濃度 0x が発生しても、本市では 0.101ppm までしか上昇しなかったと思われる。このように、特色ある地形が、本市をある時は大陸からの移流から守り、一方で、地域発生的に生じた 0x を渦を巻いて滞留させ、高濃度 0x を発生させると推測される。

共同研究に参加したことにより、九州北部のように、海岸に面している地域や西側に障害となる山々などがない地域では、大陸からの移流の影響をダイレクトに受けて 0x 濃度の上昇がみられているが、本市では、高濃度 0x の発生に地形がもたらす影響が大きな要因となっており、県内周辺地域とは異なった挙動を示していることがわかった。

今後も、引き続き監視を行っていくと伴に、国立環境研究所や各自治体研究機関との連携をとりながら、市民の安全と快適な環境を保全するための情報を提供していきたい。

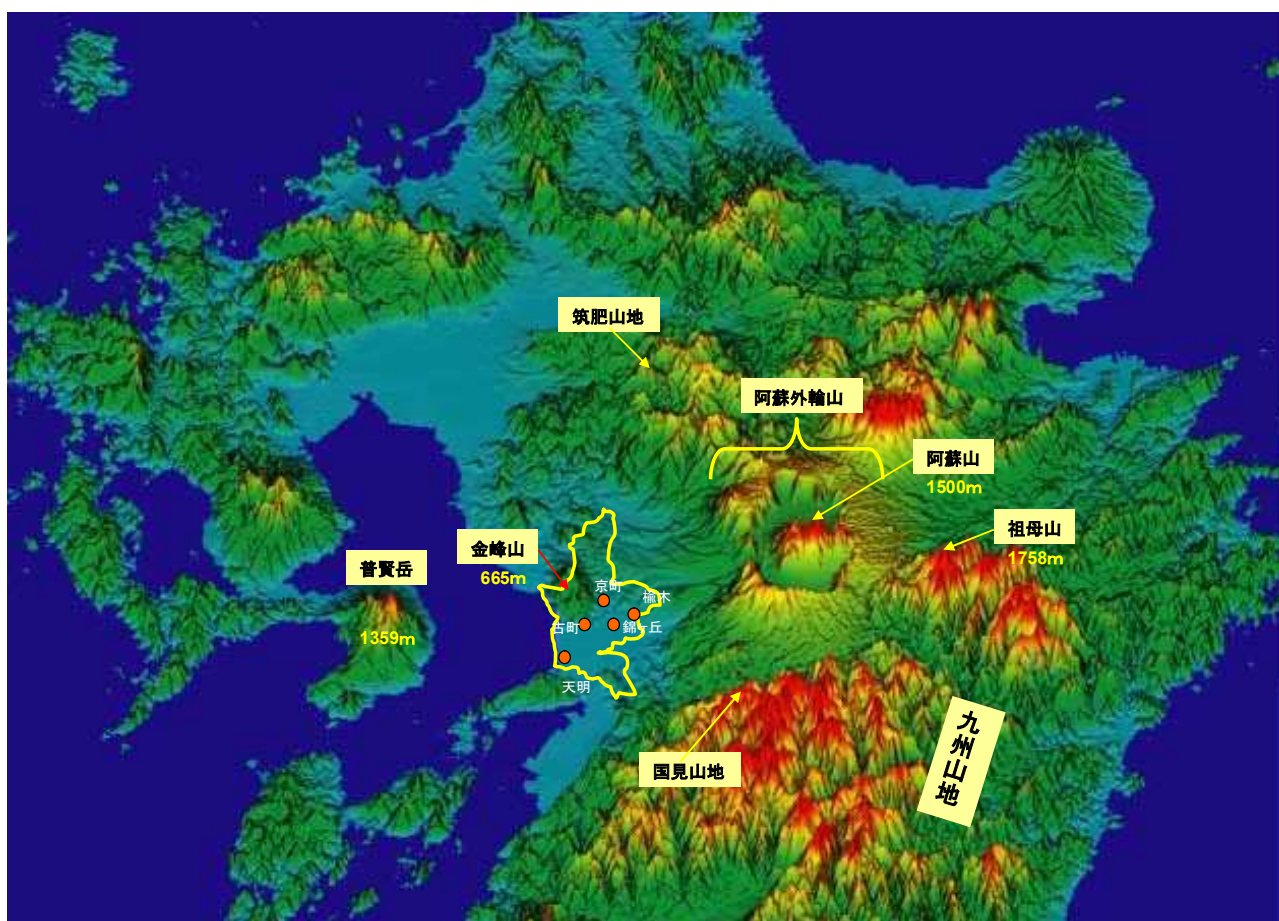


図 13 熊本市の地勢；並木則行（理学院地球惑星科学部門）作成の九州地形図使用

参考文献

- 1) 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：国環研・地公研 C 型研究平成 19～21 年度最終報告書（平成 22 年 3 月）
- 2) 福田照美、岩本真二、山崎 誠、大石興弘、山本重一、国立環境研究所・C 型共同研究グループ（九州グループ）：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（7）－九州地方における 2006 年から 2009 年までの高濃度現象について－，第 50 回大気環境学会年会講演要旨集，237，2009.
- 3) 気象庁：(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>)
- 4) 気象人：(<http://www.weathermap.co.jp/kishojin/diary>)
- 5) NOAA HYSPLIT MODEL：(<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>)
- 6) 福田照美、東瀬謙二、津留靖尚、中熊秀光、田島幸治：熊本市における 2006・2007 年度の高濃度光化学オキシダント発生メカニズム解析，熊本市環境総合研究所報，15，52-66，2007.
- 7) 岩本信二、国立環境研究所・C 型共同研究グループ（九州グループ）：九州におけるオキシダント高濃度に関する解析、21-62，2008.

