

# 丹沢山地におけるオゾンの動態解明に関する研究

飯田 信行（神奈川県環境科学センター）

丹沢山地におけるブナ林衰退原因の一つと考えられているオゾン（光化学オキシダント）の動態を調査するため、衰退の進んでいる山頂付近においてオゾン及び気象の連続測定を行った。データ解析の結果、丹沢山地では日中は平地からの大気汚染物質の移流によりオゾン濃度が平地と同程度まで上昇し、夜間は地上付近に形成される夜間境界層の上の層の大気の影響によって高標高地点でオゾン濃度が上昇することが明らかとなった。

## 1 はじめに

丹沢山地では、1970～1980年代にかけて主稜線部の山頂や尾根筋でブナ林の衰退が目立ち始め、最近でも衰退が継続していることが報告されている。原因を解明するため、県では、1993年及び1997年に丹沢大山総合調査を行い、原因の一つとして高濃度オゾンの影響を指摘したが、正確な衰退メカニズムについては依然として不明な点が多い。このため、2004年から檜洞丸においてオゾン及び気象の連続測定を開始し、さらに2007年からは、丹沢山、堂平及び大野山の3地点を追加してデータの収集を行ってきた（図1参照）。山間地のオゾン高濃度は、平地からの大気汚染物質の移流によって生じていると考えられているが、これまで山間地の連続測定データと平地の常時監視データとを合わせた解析は行われておらず、移流に着目したオゾンの動態解明が必要となっている。

## 2 目的

山間地における高濃度オゾンの主原因と考えられる平地からの大気汚染物質の移流について、山間地の連続測定データと平地の常時監視データとを合わせて解析することによりその動態を明らかにする。

## 3 解析方法

経時変化グラフから、各測定点における各項目（オゾン、二酸化窒素、風向・風速の4項目）の日変化及び季節変化の特徴を確認するとともに、山間地測定点、平地の常時監視測定局、及び国設遠隔地測定局（国設隠岐、国設佐渡関岬）のオゾン月平均値グラフから三者の季節変化を比較



図1 測定点配置図

した。次に、5月と8月の高気圧に覆われた連続した3日間について、山間地と平地の常時監視測定局の各項目の経時変化を、時間軸を合わせて比較し、山間地に発生源の存在しない二酸化窒素を指標物質として移流の実態を確認した。

## 4 結果

### 4.1 基本解析及び移流実態

山間地測定点におけるオゾン、風向・風速の特徴を表1に示す。この中で注目すべき特徴として（表中下線部）、標高1500mを超える檜洞丸と丹沢山では、日中は風が弱く夜間に強まり、さらに日中にオゾン濃度が上昇し夜間に再度上昇することが多いという共通点があることがあげられる。原因として、これらの高標高地点は、日中は高い高度まで発達した混合層の中にあり、夜間は地表付近に形成される夜間境界層（高さ300~500m）の上の層の 대기（混合層の残りの層あるいは自由大気）の中にあることが考えられる。また、檜洞丸では夜間に北風が多く観測され、丹沢山では風向が南西風と北東風の二つに分かれるという特徴があることがわかった。

次に、山間地測定点、平地の常時監視測定局、及び国設遠隔地測定局のオゾン月平均値を比較した結果を図2に示す。図から、山間地では年間を通して平地よりも0.02ppm程高く、3~6月の春に高くなり、7~8月の夏に低くなって、9~11月の秋再び高くなる傾向があることがわかる。この季節変動は、日本海側の隠岐や佐渡関岬に近い傾向であることから、高標高地点では広域オゾンの影響を受けている可能性が示唆される。

次に、5月と8月の高気圧に覆われた連続した3日間について、山間地の測定点と平地の常時監視測定局のオゾン(Ox)、二酸化窒素(N<sub>2</sub>)、風向(WD)・

表1 山間地測定点における特徴

測定点	オゾンの特徴	風向の特徴	風速の特徴	
檜洞丸	日変化	朝低下し、日中上昇して、夜間は再度上昇することが多い。	日中は常に西寄りの風で、夜間に北風が多くなる。	日中に弱まり、夜間にやや強くなる。
	季節変化	春は夏よりも平均値で15ppb程高くなる。	特徴的な変化は認められない。	春は夏よりも平均値で1m/s程強くなる。
丹沢山	日変化	朝低下し、日中上昇して、夜間は再度上昇することが多い。	南西風と北東風に分かれる。	日中に弱まり、夜間にやや強くなる。南西風の日は弱く、北東風の日は強くなる。
	季節変化	春は夏よりも平均値で20ppb程高くなる。	特徴的な変化は認められない。	春は夏よりも平均値で1.5m/s程強くなる。
堂平	日変化	日中上昇して夜間低下する。	日中南風で、夜間西風に変わる。(山谷風の変化)	朝弱く、日中から夜半に強くなる。
	季節変化	(夏欠測のため比較できず。)	(夏欠測のため比較できず。)	(夏欠測のため比較できず。)
大野山	日変化	日中上昇して夜間低下する。	(データなし)	(データなし)
	季節変化	春は夏よりも平均値で15ppb程高くなる。	(データなし)	(データなし)
大越路	日変化	日中上昇して夜間低下する。	日中南風で、夜間北東の風になる。(山谷風の変化)	1日を通して風速が弱い。
	季節変化	春は夏よりも平均値で15ppb程高くなる。	特徴的な変化は認められない。	春は夏よりも平均値で0.5m/s程強くなる。

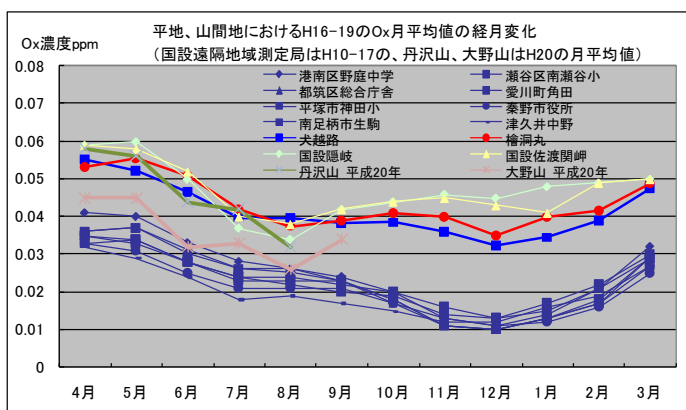


図2 山間地、平地の月平均値の経月変化

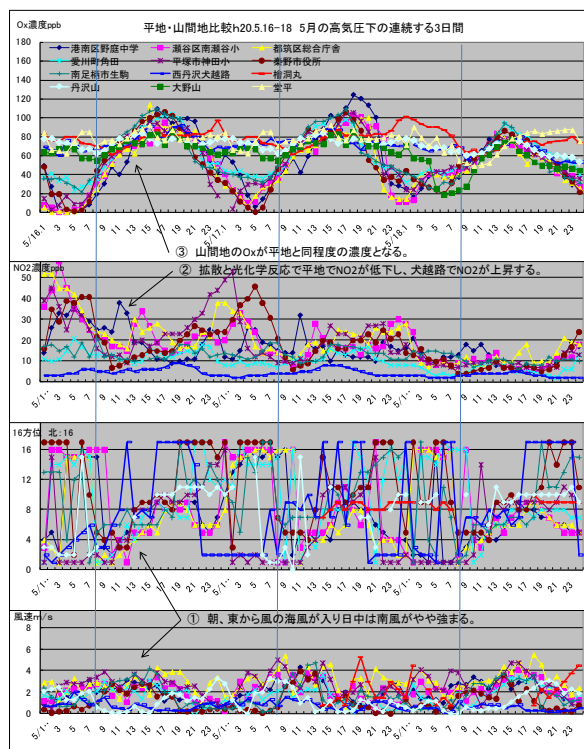


図3 5月の高気圧下の経時変化

風速 (WS) の 4 項目の経時変化を時間軸を合わせて比較した結果を図 3 及び図 4 に示す。図 3 の 5 月 16 日から 18 日のグラフから、①朝、平地に東寄りの海風が入ると、②拡散と光化学反応により平地の NO<sub>2</sub> 濃度が低下し、犬越路で NO<sub>2</sub> 濃度が上昇して、③平地と山間地のオゾン濃度が同程度となることわかる、この一連の変化が 3 日も同じように起こることから、春の高気圧に覆われる日の日中の山間地は、平地からの移流によりオゾン濃度が上昇することがわかる。また、5 月 17 日から 18 日にかけての夜間オゾン高濃度時は、平地が陸風の北風で、檜洞丸と丹沢山は南西の風で風向が異なり、かつ大気混合比が異なることから、高標高地点では夜間境界層の上の層の大気の影響により高濃度となっていることがわかる。

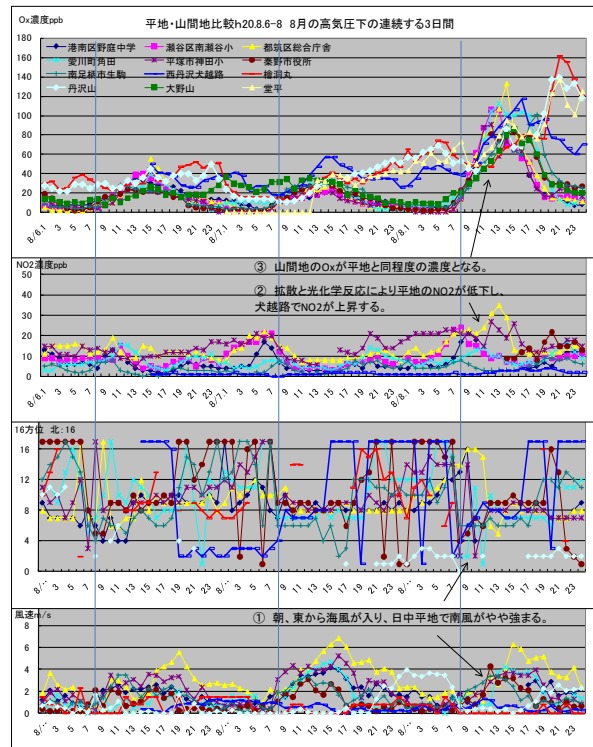


図 4 8月の高気圧下の経時変化

さらに、春の大野山（標高 576m）における夜間のオゾン濃度は山間地に近い変動であることから、春の夜間にはオゾンの原因物質である窒素酸化物等の大気汚染物質が大野山の標高以下の低高度に滞留しやすいことがわかる。次に、図 4 の 8 月 6 日から 8 日のグラフから、オゾン高濃度となった 8 日は、5 月に見られた一連の変化と同様の変化が見られ、夏の日中も平地からの移流により濃度が上昇することがわかる。また、8 月 8 日の夜間オゾン高濃度時は、5 月と同様に平地と山間地の風向及び大気混合比が異なることから、夏の夜間も夜間境界層の上の層の大気の影響により高濃度となっていることがわかる。さらに、夏の大野山における夜間のオゾン濃度は平地に近い変動であることから、夏の夜間は大気汚染物質の滞留が大野山の標高以上まで及ぶことがわかる。

#### 4.2 移流経路

気象測定点 4 点における日中の主風向と、この風向から推定される日中の丹沢東部の風系を図 5 に示す。この風系は平地からの移流経路に相当しており、丹沢東部地域における平地からの移流は、南側の稜線を越えてユーシン溪谷内に入り、溪谷内の谷風によって風向が南西に変化して北側の稜線を越え、さらに風向が

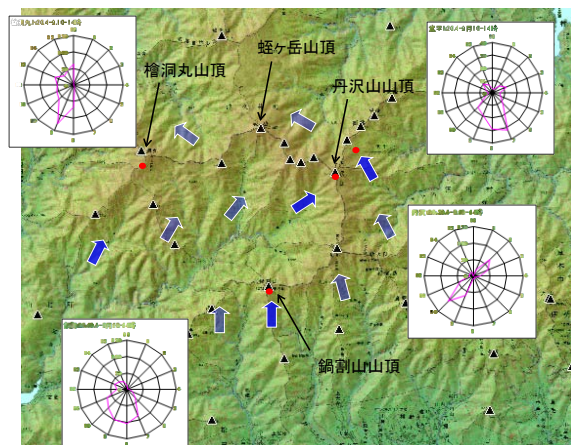


図 5 丹沢東部の移流経路



南東に変化して北西へ抜ける経路であると推定される。

推定値をオゾン実測値から検証した結果を次に示す。始めに5月の丹沢山における南西風の日と北東風の日のおゾンの平均経時変化を図6に示す。(丹沢山の風向はこの2方向に分かれるという特徴が4.1で示された。) 図から、南西風の日の日中にオゾン濃度の上昇が起こり、北東風の日には起こらないことがわかる。南西風は移流風向であることから、この濃度変化は移流経路に合致した変化といえる。

次に高気圧下における丹沢山と堂平のオゾンの平均経時変化を図7に示す。グラフから、丹沢山と堂平では日中に濃度が上昇し、かつ近い濃度で推移することがわかる。両者は直線距離で約1kmと近く、移流経路上の風上と風下の関係にあることから、この濃度変化は移流経路に合致した変化といえる。

次に、高気圧下における丹沢山と檜洞丸のオゾンの平均経時変化を図8に示す。グラフから、丹沢山と檜洞丸では日中ほぼ同時刻に濃度が上昇し始めることがわかる。両者はほぼ同緯度にあり、移流は南側の稜線を越えてユーシン溪谷内に入ることから、この濃度変化は移流経路に合致した変化といえる。

また、5月の日中は東部に位置する丹沢山が檜洞丸よりも高くなり10~15時の近似直線の傾きは4.3で、8月は近い濃度で推移し近似直線の傾きは2.8であることから、移流は春に強く夏に弱くなる傾向があることがわかる。

## 5 おわりに

本研究により、丹沢山地では日中は平地から移流によりオゾン濃度が上昇し、夜間は夜間境界層の上の層の大気の影響により上昇することがわかった。また、日中の移流経路は谷筋からではなく南側の稜線を越えて流れ込むことがわかった。丹沢大山総合調査の結果、衰退は風衝地の風上側で発生していることが明らかになっており、今後は衰退エリアを正確に把握し、移流経路と衰退エリアとの関係を明らかにする必要があると考える。

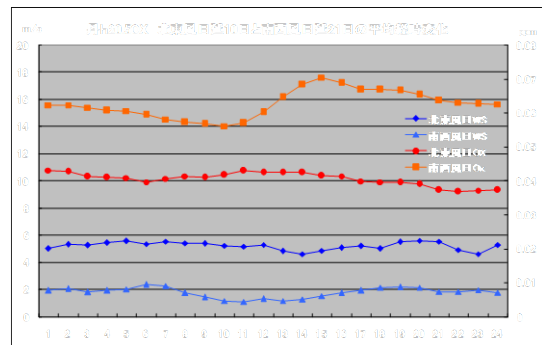


図6 丹沢山の南西風日と北東風日のO<sub>3</sub>

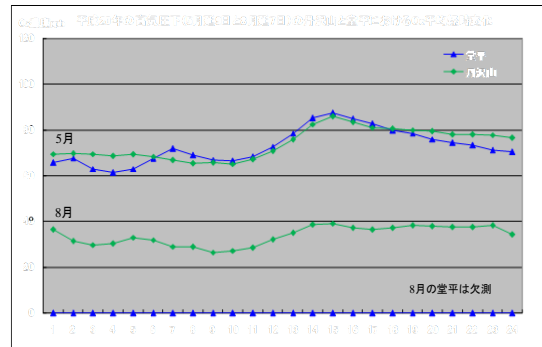


図7 高気圧下の丹沢山と堂平のO<sub>3</sub>

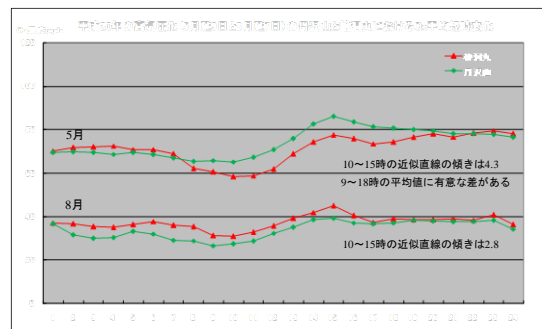


図8 高気圧下の丹沢山と檜洞丸のO<sub>3</sub>