

丹沢のブナの立ち枯れと東名高速道路について

荒川 正一

(平成9年10月2日受理)

On the influence of the Tomei High-way on the dieback of beech trees in the Tanzawa mountains.

Shoichi ARAKAWA

(Received on October 2, 1997)

1. はしがき

最近関東周辺の山々において立ち枯れが問題となっている。奥日光、赤城山、丹沢山地などが特に進んでいるようである。その原因として酸性雨、酸性霧、オゾンなどがあげられ、その発生源は東京と近圏の道路や工場であろうとされている(例えば、村野1993, 丸田1996)。

ここで取り上げる丹沢地区については、丸田のテキスト(1996)によれば、大山地区のモミの立ち枯れは1960年代に始まり、'70年代にピークとなり、'80年代にはその進行は止まったということである。一方1980年代中頃から丹沢の主稜線でブナの立ち枯れが始まったらしい。現在では塔ノ岳から丹沢山、蛭ヶ岳、檜洞丸、少し間を置いて大室山~加入道山に至る、丹沢主稜線においてブナの立ち枯れが進んでいる(次節参照)。これに対し、東京農工大、慶応大、気象大のグループが、檜洞丸を対象に森林生態学的、地球化学的な立場から研究を進めている(戸塚他1996, 丸田他1997)。

われわれは、気象学、地理学の立場からこの問題を追究した。まず先達の調査やわれわれの現地調査から、立ち枯れの地理的分布を求めた。そしてその汚染源は東名高速道路と推定し、数値計算の手法によってその線に沿った解析を行った。その結果、妥当な推定であると確信するに至った。

2. 立ち枯れの地理的特徴

丹沢山地のブナの立ち枯れ域については、現地の丹沢ドン会会員鈴木澄雄氏の調査図に詳しい(1993)。これ



(a)



(b)

図1 塔ノ岳・丹沢間の立枯れの現場, 図2のP点.

a) 尾根の西側斜面のブナの立枯れ。この斜面の下は玄倉川の原流で向う側へ流れている。撮影点の背後の木は健全である。b) 尾根のすぐ下は崖であり、その崖下の斜面でも立枯れが進んでいる。ここでは針葉樹の立枯れが目立った(矢印)。

によると一部に切れ間があるが、塔ノ岳から丹沢山、不動ノ峰、蛭ヶ岳、檜洞丸迄の丹沢主稜沿いと、大室山～加入道山の尾根沿いに立ち枯れ域が存在している。

また檜洞丸を対象とした丸田（1997）らの研究によれば、檜洞丸山頂付近では、ブナの枯死域は尾根の南側斜面にまとまって存在し、北側斜面では健全であった。という。

われわれは1995年4月末、鍋割山～塔ノ岳～丹沢山の尾根に沿って調査した。それによれば、塔ノ岳～丹沢山の尾根についてはブナの立ち枯れは尾根の西側斜面で顕著で、所によっては丸裸の状態であった。一方東側斜面は健康であった（図1-a）。西側斜面では尾根上ばかりでなく、尾根の崖下の斜面でも針葉樹（モミらしい）の立ち枯れが多数望見できた（図1-b、これは図2の

P点で撮ったもの）。調査範囲のうち塔ノ岳～鍋割山の尾根のブナ林は、尾根の両側とも健康で大木が林立していた。

以上の事実をまとめて図2の地形図に書きこんだ。これによると、丹沢山地のブナの立ち枯れは丹沢主稜尾根のうち、とくに玄倉川と中川川上流のS-SWの風の当たる側に集中的に分布しているようである。同じ側のより低高度の斜面では針葉樹の立ち枯れが見られた。その尾根の反対側は健康であった。因みに、鍋割山～塔ノ岳の尾根には、玄倉川に沿って這いあがるSW風は直接当たらない。

丹沢山地のブナの立ち枯れの地理的特徴から、われわれは次のような推論をくだした（仮説）。それは：

「沼津から御殿場を経て都夫良野トンネル手前までの、

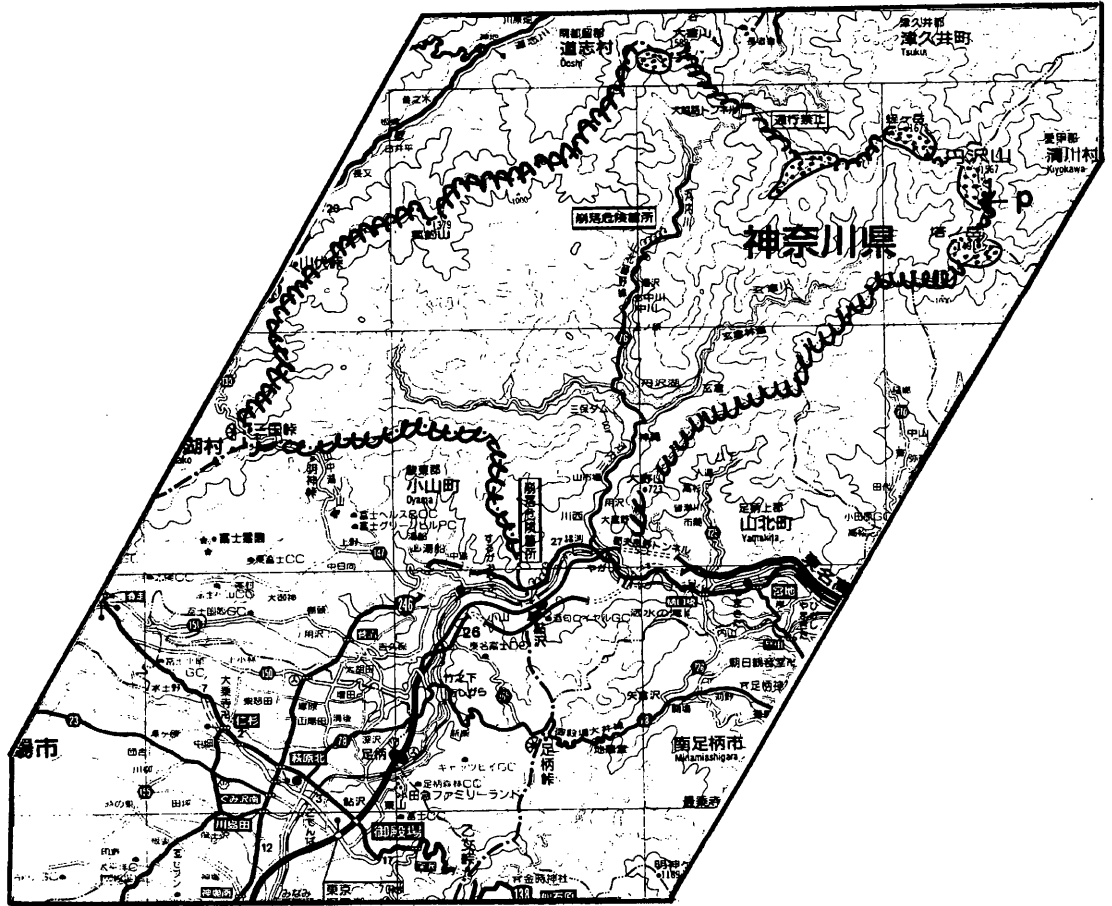


図2 丹沢地区の地形と河内川の流域（ら線型くさり線）。
ブナの被害域は点々の陰影で示した。東名高速道路らは都夫良野トンネルから御殿場まで示したが、道路は更に南へ伸び、沼津まで総延長約30km続く。

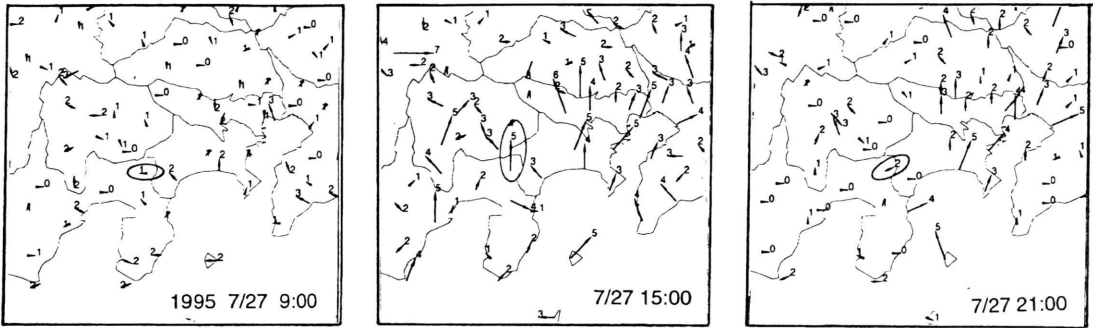


図3 夏型の高気圧におおわれ、風の弱い日の南関東、東海道の風の1日変化。矢は風向を、矢先の数字は風速(m/s)を示す。この地区のアメガス地点は御殿場のみ。風向の方向に長軸をもつ楕円で囲んだ。午後から夕方にかけて南～南西風が卓越している。全体に午後～海風と谷風(平地から山地へ)が卓越している。

東名高速道路と国道246号線および地方道(まとめて東名高速道路という)に注目する。これらの路上の車から常に燃焼ガスが排出されている。一方晴天の日には海陸風と山谷風が吹く:すなわち日中は海から陸へ、また平地から山へ、谷から尾根へ向かう風、夜間には逆向きの風が卓越する(図3)。それゆえ日中には、東名高速道、河内川、玄倉川(または中川川)をつなぐ南よりの風が卓越し、これに乗って高速道からの排気ガスが丹沢流域に入り上流に運ばれ、奥地の斜面にぶつかって立ち枯れを起こす。というのである(図4の鳥瞰図参照)。

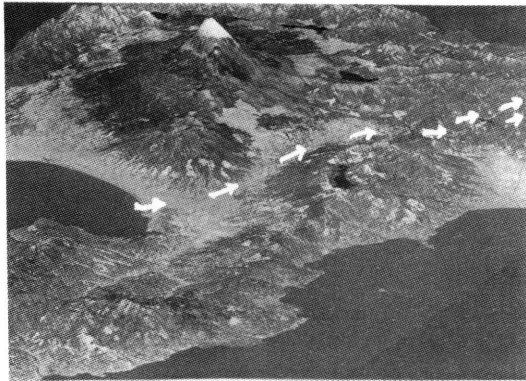


図4 問題の地域周辺の地形の鳥瞰図。日中に卓越するであろう海風と谷風を矢印で記入した。富士山系、箱根山塊に挟まれたこの地区は高速道沿いに風の通り道となっている。

3. 東名高速道から発したガスの移流・拡散モデル

前述の仮説を確かめるため次のような計算モデルを組み立てる。

はじめ1台の車から連続的に発せられたガスが周囲に

拡散しながら風で運ばれて行くときのガスの濃度分布を求める。それは次式で与えられる(Pasquill, 1961)。

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp \left\{ -\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{z^2}{2\sigma_z^2} \right\} \quad (1)$$

ただし、一様風 U の方向に x 軸を、それと直角に水平平面内に y 軸、鉛直方向に z 軸をとる。また記号の意味と単位は;

χ : ガスの濃度, ppm

Q : 車からのガス発生率, m^3/s 。ここでは1台の車につき $0.1m^3/s$ とした。

U : 風速, m/s

σ_y, σ_z : 夫々 y, z 方向の濃度分布の標準偏差, x の関数, m

y, z : 原点から測った y, z 方向の距離, m

(1)式は、拡散の微分方程式を上条件で解いて得られる。これは地表面でガスが完全に吸収されるとした場合の解で、反射されるとしたとき(1)式右辺分母の2は消える。

σ_y, σ_z は拡散幅と呼ばれており、 x と共に増加する。その x への依存性は実験的に定められている。ここでは環境庁で使っている拡散幅の式、次式を用いた; (横山他, 1992)

$$\begin{aligned} \sigma_y(x) &= \gamma_y \cdot x^{\alpha_y} \\ \sigma_z(x) &= \gamma_z \cdot x^{\alpha_z} \end{aligned} \quad (2)$$

ただし、 $\gamma_y, \alpha_y, \gamma_z, \alpha_z$ は、AからGまで7階級あるPasquillの安定度別に与えられる。ここではそ

表1 拡散幅 σ_y, σ_z の係数 (パスキール安定度 C, Dのみ). 安定指数 A~G 全域の値は例えば横山1992.

安定度	風下距離 χ	α_y	γ_y	α_z	γ_z
C	0~1,000m	0.924	0.177	0.918	0.107
	1,000m~	0.885	0.232	同上	同上
D	0~1,000m	0.929	0.111	0.826	0.105
	1,000~10,000	0.889	0.147	0.632	0.400
	10,000~	同上	同上	0.555	0.811

の一部, 日中の弱不安定を表す階級 C, および中立を表す階級 D における係数の値を表 1 にしめす.

次に前節の仮説に当たるモデルを考える. 図 5 の如くいま風向 (x 軸) と道路が一致しているとし, その道路上に多数の車が配列されているとする. 道路は 10 車線あるとし (Q は 10 倍となる), かつ原点から L (30km) 続くとする. その上に Δ の間隔で N 台の車があるとする. 当然 $N = L/\Delta$ である, ここでは 300 台とする. L の先は

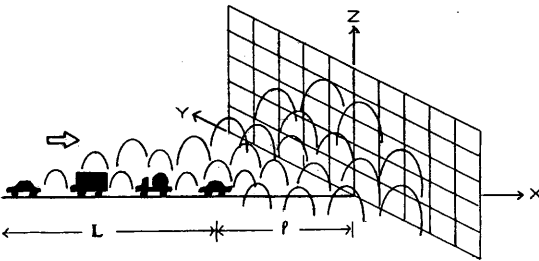


図 5 道路沿いに吹く風が自動車からの排気ガスをかき集め, 拡散しながら下流に運ぶモデル図 (実験 I). 後尾の自動車から下流 l のところにある, y, z 面の網は煙の濃度を測るための座標. ここに丹沢の尾根があるという想定.

丹沢の沢が l だけ続き, その先端に沢の向きに直角に網が張っており, そこで N 台の車の積算された濃度を求める.

$$\bar{\chi}(l; y, z) = \sum_{i=1}^N \chi(l + i\Delta, y, z) \quad (3)$$

比較のため道路が風向と直角な場合, 風下の任意の点の濃度は (次節のモデル 3)

$$\bar{\chi}(y_0; x, z) = \sum_{j=1}^M \chi(x, j\Delta - y_0, z) \quad (4)$$

ただし, y_0 は風下分布をみるときの y 座標.

4. 数値計算と考察

表 2 数値実験の 3 ケース

実験	モデル名	モデルの特性
I	線源・縦風	道路長 30km, 10 車線, 車間距離 100m $Q = 0.1 \text{ m}^3/\text{s}$, $U = 3 \text{ m/s}$, $\text{Pas}^* = D$, 道路 x 方向
II	連続・点源	1 台の車から連続的に排出 Q, U, Pas は I と同じ
III	線源・横風	道路 y 方向, 他は I と同じ

* Pas はパスキールの安定度

数値計算 (または実験) は表 2 のとおり 3 つのモデルで行われた. 実験 I は本実験の主題となるもので, 式 (3) によって計算される. これを線源・縦風モデルと呼ぼう. 実験 II は連続点源モデルと呼ばれているもので, 式 (1) によって計算する. これはブルーム法の最も基本的なモデルである. 実験 III は道路と直交する風が運ぶ排気ガスの濃度を求めるもので, 式 (4) による. これも拡散理論で, 無限長の発生源をもつ線源モデルとしてよく論ぜられるものである. これは線源・横風モデルと呼ぼう.

実験 I の計算結果を図 6 に示す. 図は $l = 150 \text{ m}$, 1.5 km , 15 km における $y-z$ 面内の濃度分布である. 濃度の対数を取り, それを示数化して表わしてある (図の説明参照). 濃度は風下へ向ってほとんど減少しない. とくに $l = 150 \text{ m}$ と 1.5 km では示数の分布はほとんど同じ, $l = 15 \text{ km}$ へいくとやや横方向及び縦方向へ広がる. これは実験 II (点源からのブルーム, 図 7) とは大違いである. 図 7 によれば, 風下のどの距離でもブルームの規模は小さく, 風下に向って広がりながらその濃度は減少している. これは常識的なブルームの分布である. ところが実験 I のように積算された煙源では, 風下の濃度はどの方向へも一樣になる傾向がある. 言い換えると, 丹沢山地の主枝尾根の濃度は流域入口の濃度と余り変らないと考えられる.

実験 III は実験 I と全く同じ道路と車の状態のところへ道路と直角な風が吹くとき, 長さ 30km の道路の真中から風下へ向かう濃度分布を計算したものである (図 8). このばあいにも, 地表の濃度は風下に向ってほとんど減

丹沢のブナの立ち枯れと東名高速道路について

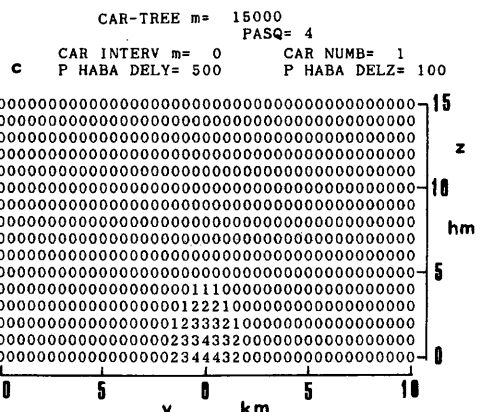
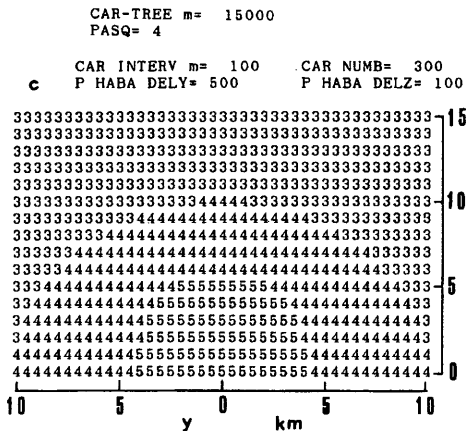
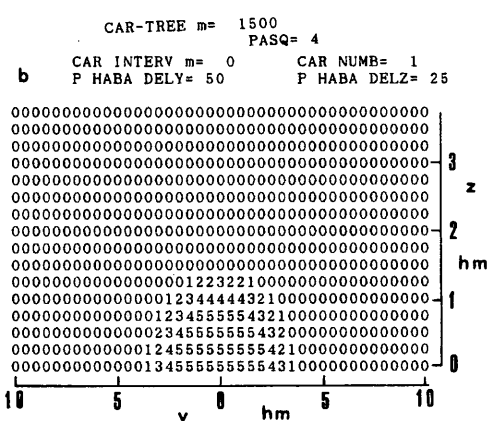
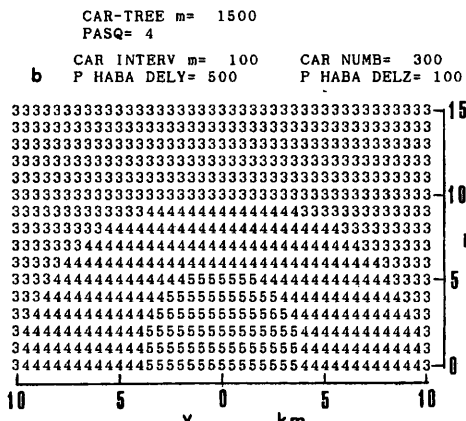
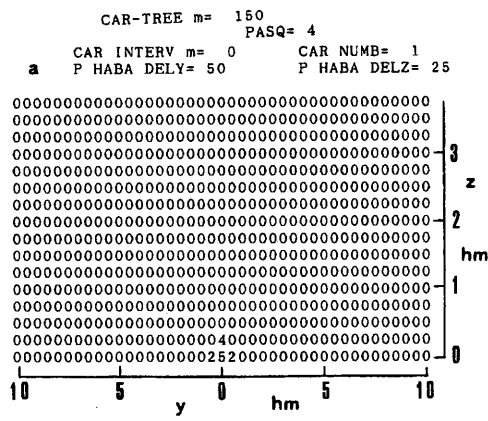
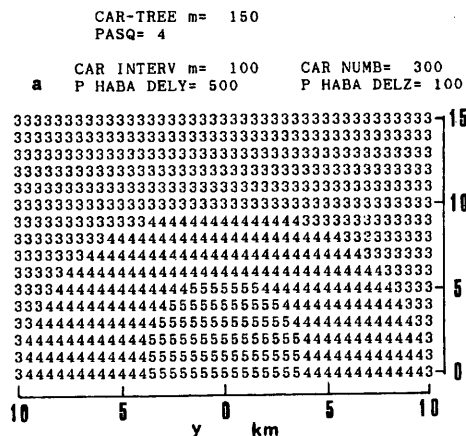


図6 実験 I の計算結果. $l=150\text{m}$ (a), 1500m (b), 15000m (c) における, y, z 面内の煙の濃度分布. 数値は, 5: $\geq 10^1 \text{ppm}$, 4: $\geq 10^0 \text{ppm}$, 3: $\geq 10^{-1} \text{ppm}$, 2: $\geq 10^{-2} \text{ppm}$, 1: $\geq 10^{-3} \text{ppm}$, 0: 10^{-4}ppm を意味する. 長さのスケール $\text{hm}=100\text{m}$. 濃度分布は 150m から $15,000\text{m}$ まで余り変わらない.

図7 実験 II の計算結果. 表示法など図6と同じ. 但し, (a), (b) の y, z のスケールは $\text{hm}(=100\text{m})$ 単位で表わしてある.

