

大気汚染による死亡者数等 の推算について

2018年11月7日

東北大学

明日香 壽川

asuka@cneas.tohoku.ac.jp



自己紹介

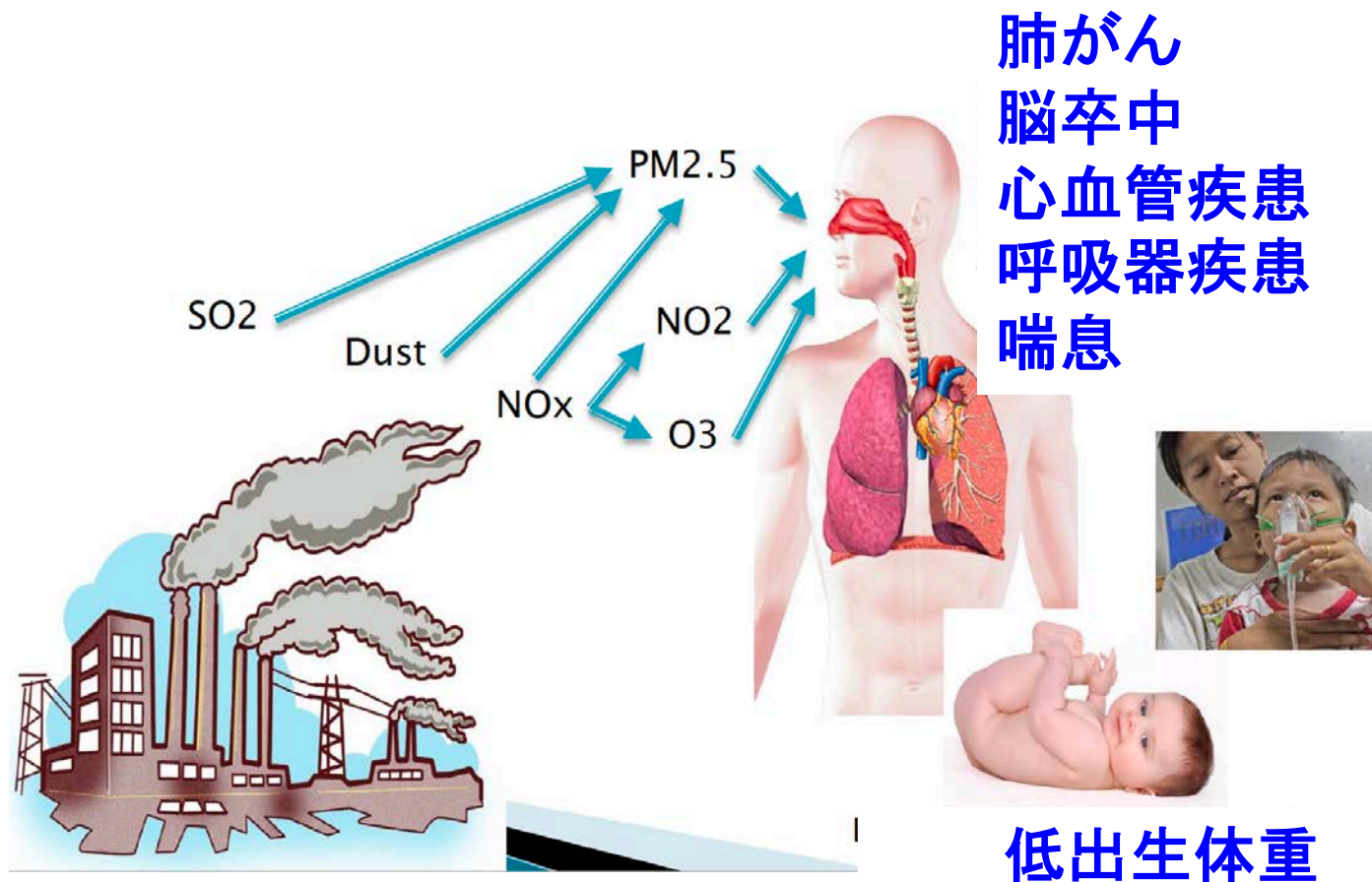
- 東北大学東北アジア研究センター/環境科学研究科教授
- 東京大学工学系研究科(博士)、INSEAD(経営学修士)
- 電力中央研究所研究員、地球環境戦略研究機関気候変動グループ・ディレクター、京都大学経済研究所客員助教授等を歴任。環境経済・政策学会理事
- 環境省環境総合推進費S-7「東アジアにおける広域大気汚染の解明と温暖化対策との共便益を考慮した大気環境管理の推進に関する総合的研究」(H21～25年)研究メンバー

内容

1. 世界と日本の大気汚染死亡者数等
2. 日本と宮城におけるPM_{2.5}問題
3. 死亡者数等の推算方法および結果
4. 推算結果の信頼性
5. 環境基準との関係
6. まとめ

1.世界と日本の大気 汚染死亡者数等

PM_{2.5}等の具体的な健康被害



Global Burden of Disease (GBD) (世界疾病負担研究)

- 1990年に世界保健機関(WHO)などが中心となってスタートとした世界的な研究プロジェクト
- 大気汚染などの様々な要因による健康被害の大きさを計算して世界に警鐘

世界で年間700万人程度が大気汚染で死亡

日本経済新聞

小中大 記事利用について 印刷

大気汚染で年700万人死亡 WHO

2018/5/2 9:20 | 日本経済新聞 電子版

【ジュネーブ＝共同】世界保健機関（WHO）は2日、微小粒子状物質「PM2.5」などによる大気汚染が世界的に拡大を続けており、肺がんや呼吸器疾患などで年間約700万人が死亡しているとみられると発表した。世界人口の約90%が汚染された大気の下で暮らし、健康被害のリスクがあると指摘。WHOのテドロス事務局長は「早急に対策を取らないと世界の持続的な成長は困難になる」と警告した。

<後略>

日本でも年間3.7万人程度が死亡

朝日新聞
DIGITAL

栄養不足・感染症…温暖化「すでに健康に影響」 医学誌

小坪遊 2017年10月31日15時51分

英医学誌ランセットは31日、地球温暖化による健康影響を調べるプロジェクト「ランセット・カウントダウン」の2017年版報告書を発表した。気温上昇による労働生産性の低下や感染症リスクの増加などを指摘、「すでに人々の健康にとって大きな問題となっている」と警告している。

<中略>

比べて約3・8%上昇。また、温暖化の原因となる二酸化炭素を大量に出す石炭火力発電所などによる大気汚染が原因で、15年だけでも日本で約3万7千人が早く亡くなり、アジアの2

<後略>

日本の他の研究グループも同程度の数値を推算

Atmospheric Environment 140 (2016) 320–332



Contents lists available at ScienceDirect

Atmospheric Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/atmosenv



Estimation of excess mortality due to long-term exposure to PM2.5 in Japan using a high-resolution model for present and future scenarios



Daisuke Goto ^{a,*}, Kayo Ueda ^b, Chris Fook Sheng Ng ^c, Akinori Takami ^a, Toshinori Ariga ^a, Keisuke Matsushashi ^a, Teruyuki Nakajima ^d

^a National Institute for Environmental Studies, Japan

^b Faculty of Engineering, Kyoto University, Kyoto, Japan

^c Department of Pediatric Infectious Diseases, Institute of Tropical Medicine, Nagasaki University, Nagasaki, Japan

^d Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency, Japan

<中略>

response function. As a result, we estimated the excess mortality for all of Japan to be 31,300 (95% confidence intervals: 20,700 to 42,600) people in 2000 and 28,600 (95% confidence intervals: 19,000 to 38,700) people in 2030 using the HRM with a MINPM of 5.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In contrast, the LRM resulted in

<後略>

出典: Goto et al. 2016

アジア全体での推算もあり



Featured ▾ | World | USA | Business | Tech | Entertainment | Travel | Photo | Video | Odd News | Style

🏠 > Business

大気汚染原因の死者、3倍に拡大か 東南アジア

© 2017.01.14 Sat posted at 16:04 JST

(CNN) 米ハーバード大学と環境保護団体「グリーンピース」は14日までに、東南アジア地域における石炭利用による二酸化炭素排出量などが2030年までに3倍の水準となり、大気汚染関連の死亡者の増加につながると警告する報告書をまとめた。

<後略>

アジア全体での推算もあり(続き)

This is an open access article published under an ACS AuthorChoice [License](#), which permits copying and redistribution of the article or any adaptations for non-commercial purposes.



Article

pubs.acs.org/est

ENVIRONMENTAL
Science & Technology

Burden of Disease from Rising Coal-Fired Power Plant Emissions in Southeast Asia

Shannon N. Kopplitz,^{*,†} Daniel J. Jacob,[‡] Melissa P. Sulprizio,[‡] Lauri Myllyvirta,[§] and Colleen Reid^{||}

[†]Department of Earth and Planetary Sciences, Harvard University, Cambridge, Massachusetts 02138 United States

[‡]John A. Paulson School of Engineering and Applied Sciences, Harvard University, Cambridge, Massachusetts 02138 United States

[§]Greenpeace International, 1066 AZ Amsterdam, The Netherlands

^{||}Department of Geography, University of Colorado, Boulder, Colorado 80309 United States

[Supporting Information](#)

ABSTRACT: Southeast Asia has a very high population density and is on a fast track to

Annual Mortality from Southeast Asian Coal by 2030

出典: Kopplitz et al. 2017

石炭火力で日本で年間約1200人程度死亡(LANCETカウントダウンプロジェクト)

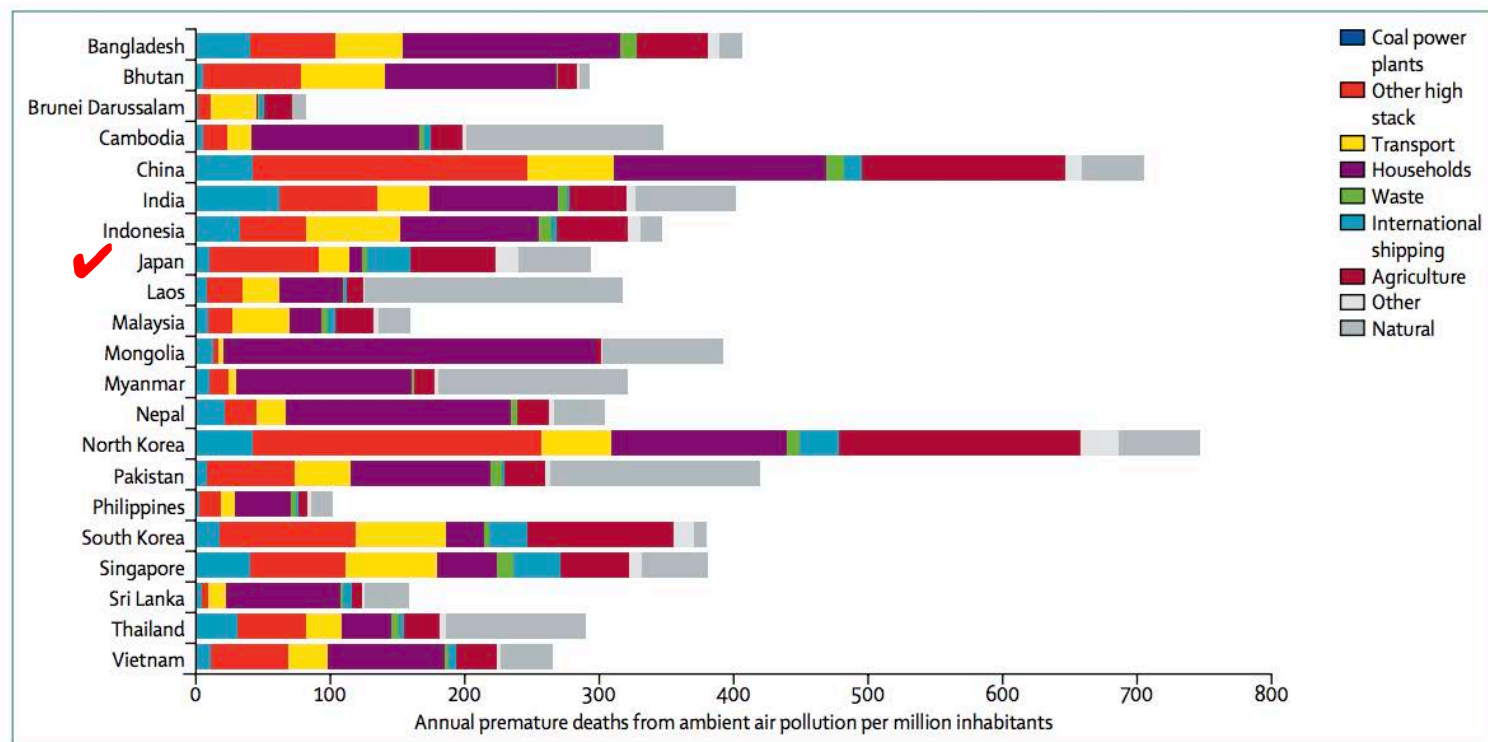


Figure 24: Health impacts of exposure to ambient fine particulate matter (PM_{2.5}) in south and east Asian countries in 2015, by key sources of pollution
 The contributions of individual source sectors to ambient PM_{2.5} concentrations have been calculated using linearised relationships based on full atmospheric chemistry transport model simulations, and premature deaths are calculated following the methodology used by WHO and the Global Burden of Disease 2013 study.

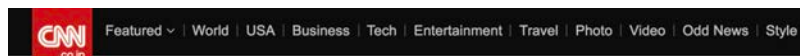
出典: LANCET (2018)

最新研究 (GBD 2015) では、日本で PM_{2.5}で年間6.1万人程度死亡

	Deaths, in thousands (95% UI)	Risk factor rank for deaths	Deaths per 100 000 people (95% UI)
China	1108.1 (948.7–1272.8)	1	84.3 (71.5–96.7)
India	1090.4 (936.6–1254.8)	2	133.5 (112.8–154.9)
USA	88.4 (66.8–115.0)	6	18.5 (14.2–23.7)
Indonesia	78.6 (62.0–96.7)	7	49.9 (38.5–61.6)
Brazil	52.3 (41.9–65.1)	9	30.9 (24.2–39.0)
Pakistan	135.1 (114.3–159.2)	4	136.3 (113.7–163.5)
Nigeria	50.9 (35.7–73.2)	10	68.9 (48.5–101.7)
Bangladesh	122.4 (103.2–144.4)	5	133.2 (111.8–158.4)
Russia	136.9 (111.3–161.1)	3	62.6 (51.8–73.2)
Japan	60.6 (44.5–81.4)	8	16.8 (12.8–21.9)



PM_{2.5}は糖尿病リスクも増大



🏠 > Odd News

大気汚染が糖尿病の原因に、世界で年間320万人発症 米研究

© 2018.07.02 Mon posted at 17:36 JST

シェア 160 ツイート

(CNN) 大気汚染はたとえ米環境保護庁(EPA)や世界保健機関(WHO)の基準を下回っていたとしても、世界で糖尿病のリスクを増大させているという研究結果を、このほど米ワシントン大学などの研究チームが発表した。

この研究結果は6月29日のランセット・プラネタリー・ヘルスに発表された。研究チームは、2016年だけでも世界で320万人が大気汚染に起因する糖尿病を発症したと推定。これは全症例の14%を占めている。米国では年間15万人の糖尿病発症が、大気汚染に関係しているとした。

論文執筆に加わったワシントン大学の研究者は、「糖尿病と、現在の安全基準を大幅に下回るレベルの粒子大気汚染との間には、否定できない関係がある」と指摘。「多くの業界ロビー団体は、現在の基準が厳しすぎる」として緩和を求めている。だが証拠が示す通り、現在の安全基準はまだ不十分であり、強化する必要がある」と話す。

<後略>

2. 日本と宮城における PM_{2.5}問題

PM_{2.5}は国民的関心事。かつ「中国産」ばかりではない

産経ニュース

2015.2.20 10:00

「中国産」ばかりじゃない“PM2・5の脅威” 関東への6割は「国内産」対策急げ

毎朝、NHKテレビのニュース番組で確認している情報がある。「福岡市のきょうのPM2.5」だ。福岡市は早朝、その日の大気中の微小粒子状物質PM2.5の平均濃度が国の環境基準である1立方メートル当たり35マイクログラムを超えるかどうかを予測、公表している。環境基準を超えとなれば、予測グラフに合わせ「福岡市は呼吸器系の持病やアレルギーのある人は外出時にマスクを着用することや、外出後にうがいをし、空気の入替えを控えるよう呼びかけています」といったアナウンスが流れる。

<中略>

九州の約3割、関東の約6割は国内で発生するPM2.5だ。

<後略>

→最新の知見では、日本の東北地域の中国由来PM_{2.5}は1～2割（都市部はより小さい）

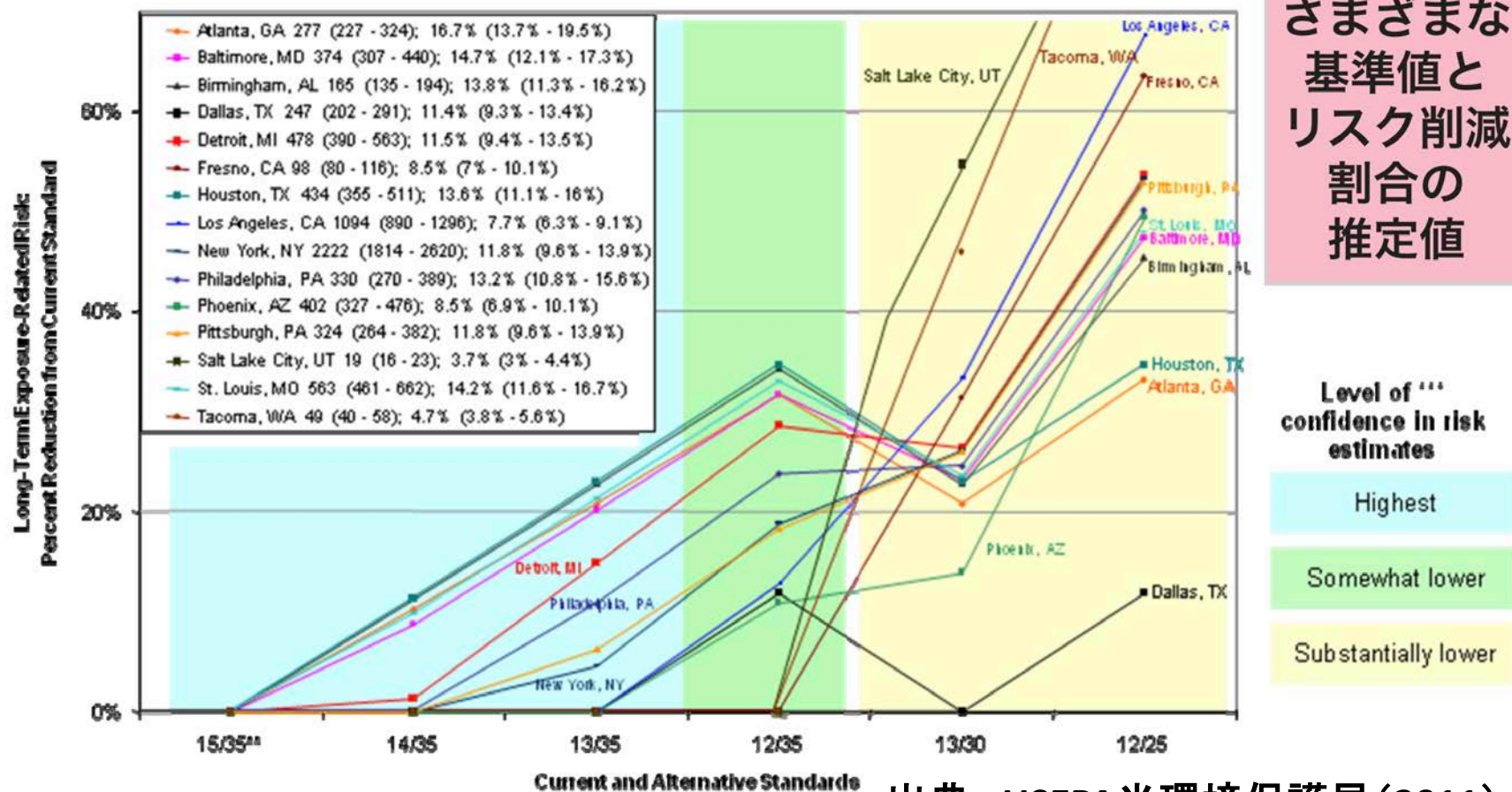
PM_{2.5}の環境基準

- 日本:年平均値15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下(日平均35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)
- 米国:年平均値12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下(日平均35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)
- 世界保健機構(WHO)指針:年平均値10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下
(日平均25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)

「前略...日本は現在15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で3割しか達成していませんので、基準を10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ にしたら、達成するのはかなり困難になります...後略」
(内山2014)

米国での基準強化(15 μ g $\rightarrow$ 12 μ g) の背景

Figure 2-11 Percent reduction in long-term exposure-related mortality risk (alternative standards relative to the current standard)
(Note: inset shows PM_{2.5} related incidence and percent of total incidence for IHD mortality under the current suite of standards*)



仙台市の濃度PM_{2.5}濃度

▼表 3-4-1-3 大気汚染に係る環境基準と測定結果（平成 28 年度）

【環境対策課】

平成29年3月31日現在

局 区 分	項 目		二酸化硫黄			一酸化炭素			浮遊粒子状物質			光化学オキシダント	二酸化窒素	微小粒子状物質	
			SO ₂			CO			SPM			Ox	NO ₂	PM2.5	
	環境基準		日 平 均 値 が 0.04ppm 以下であり、かつ、1 時 間 値 が 0.1ppm以下			日 平 均 値 が 10ppm 以下であり、かつ、1 時 間 値 の 8 時間平均値が 20ppm以下			日 平 均 値 が 0.1mg/m ³ 以下であり、かつ、1 時 間 値 が 0.20mg/m ³ 以下			1 時 間 値 が 0.06ppm 以下	日 平 均 値 が 0.04 ～ 0.06ppm の範囲内又はそれ以下	年 平 均 値 が 15 μ g/m ³ 以下であり、かつ、日 平 均 値 が 35μ g/m ³ 以下	
			評価方法		長期的評価	短期的評価	長期的評価	短期的評価	長期的評価	短期的評価	短期的評価	長期的評価	長期基準	短期基準	
	日平均値の2%除外値	基準超過			日平均値の2%除外値	基準超過	日平均値の2%除外値	基準超過	基準超過	日平均値の年間98%値	年平均値	日平均値の年間98%値			
市 町 村	局 名	(ppm)	(時間)	(日)	(ppm)	(日)	(回)	(mg/m ³)	(時間)	(日)	(時間)	(ppm)	(μ g/m ³)	(μ g/m ³)	
一	仙 台	福 室						0.045	0	0	227	0.022			
		岩 切						0.039	0	0	97		10.1	28.1	
		鶴 谷						0.046	0	0	279	0.02			
		榴 岡	0.002	0	0			0.042	0	0	285	0.022	12.9	34.3	
		長 町						0.042	0	0	279	0.021	9.7	31.9	
		中 山						0.038	0	0	300	0.016	10.0	27.3	
		中 野	0.002	0	0			0.052	0	0	331	0.027	12.0	29.8	
		七 郷						0.042	0	0	242	0.026	10.7	28.8	
		山 田						0.041	0	0	326	0.02	9.5	28	
		七 北 田						0.038	0	0	270	0.024	9.6	26.8	
		広 瀬						0.037	0	0	302	0.015	(10.7)	(29.9)	
		宮 総											(7.6)	(18.6)	
		秋 総											(5.8)	(15.2)	
石 巻	石 巻	0.002	0	0				0.046	0	0	200	0.016	12.0	31.5	
塩 竈	塩 釜							0.045	0	0	305	0.023			
大 崎	古 川 II	0.002	0	0				0.058	0	0	286	0.014			

出典：
宮城県
環境対
策課

仙台市の濃度PM_{2.5}濃度(続き)

平成29年3月31日現在

局 区 分	項 目		二酸化硫黄			一酸化炭素			浮遊粒子状物質			光化学オキシダント	二酸化窒素	微小粒子状物質	
			SO ₂			CO			SPM			Ox	NO ₂	PM2.5	
	環境基準		日平均値が0.04ppm以下であり、かつ、1時間値が0.1ppm以下			日平均値が10ppm以下であり、かつ、1時間値の8時間平均値が20ppm以下			日平均値が0.1mg/m ³ 以下であり、かつ、1時間値が0.20mg/m ³ 以下			1時間値が0.06ppm以下	日平均値が0.04～0.06ppmの範囲内又はそれ以下	年平均値が15μg/m ³ 以下であり、かつ、日平均値が35μg/m ³ 以下	
			長期的評価		短期的評価	長期的評価		短期的評価	長期的評価		短期的評価	短期的評価	長期的評価	長期基準	短期基準
			日平均値の2%除外値		基準超過	日平均値の2%除外値		基準超過	日平均値の2%除外値		基準超過	基準超過	日平均値の年間98%値	年平均値	日平均値の年間98%値
市 町 村	局 名		(ppm)	(時間)	(日)	(ppm)	(日)	(回)	(mg/m ³)	(時間)	(日)	(時間)	(ppm)	(μg/m ³)	(μg/m ³)
局	岩 沼	岩 沼	0.002	0	0				0.047	0	0	89	0.018	9.8	21.5
	柴 田	柴 田	0.003	0	0				0.04	0	0	338	0.017		
	丸 森	丸 森	0.002	0	0				0.043	0	0	288	0.006		
	山 元	山 元	0.001	0	0				0.047	0	0	134	0.013		
	松 島	松 島							(0.046)	0	0	261	(0.017)		
	利 府	利 府							0.047	0	0	271	0.022		
	大 和	大 和							0.045	0	0	295	0.016	13.1	28.2
	涌 谷	国 設 寛 岳	0.002	0	0	0.3	0	0	0.043	0	0	235	0.006	9.6	26.5
	栗 原	築 館							0.046	0	0	243	0.009	8.9	17.8
	登 米	迫							0.043	2	0	215	0.011	(8.4)	(19.5)
自 排 局	東 松 島	矢 本 II							0.048	0	0	205	0.015		
	仙 台	五 橋							0.036	0	0		0.027	14.4	32.5
		苦 竹	0.002	0	0				0.051	0	0		0.029	12.7	33.4
		木 町							0.037	0	0		0.026	10.3	28.8
		将 監				0.6	0	0	0.042	0	0		0.037	11.0	32.8
		長 命							0.041	0	0		0.027	(9.6)	(26.7)
		北 根				0.6	0	0	0.050	0	0		0.024		
	塩 竈	塩 釜 自 排				0.5	0	0	0.059	0	0		0.027		
	大 崎	古 川 自 排							0.051	0	0		0.021		
	名 取	名 取 自 排							0.048	0	0		0.034	11.7	33.9

()内は有効測定日数未滿の測定値

出典：
宮城県
環境対
策課

3.死亡者数等の推算 方法および結果

死亡数等の推算は3つの要素の組み合わせ

①

大気拡散モデル

排出強度
地形データ
気象データ
輸送
化学反応

×

②

疫学
知見

×

③

曝露
人口

=

死亡・
低出生
体重

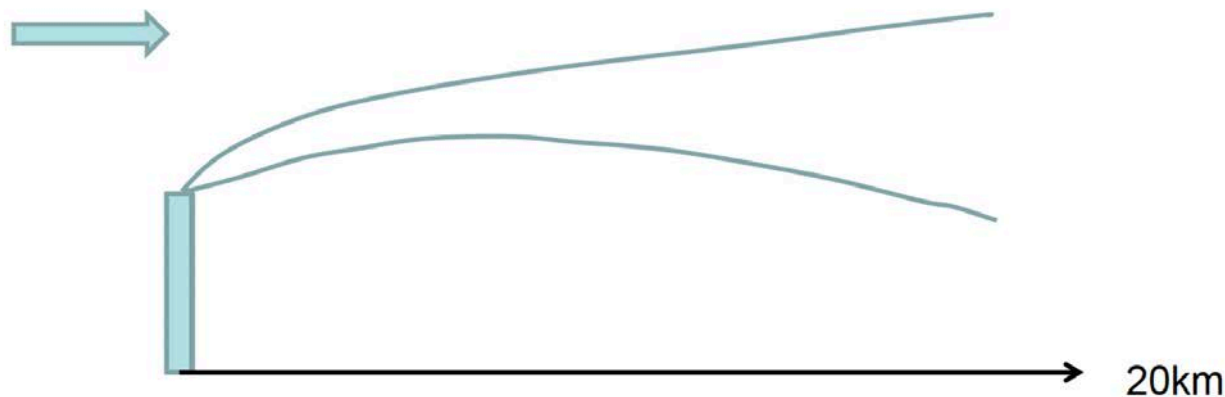
大気拡散モデルとは？

- 大気汚染物質の濃度を予測する数式
- 発生源の排出量 Q や風向、風速 U 等の気象条件を数式に代入して、煙突(高さ H_e)などから計算点 x の大気汚染物質濃度 C を予測
- 大気安定度も大きく影響

$$C = f (Q, H_e, x, U, \text{大気安定度})$$

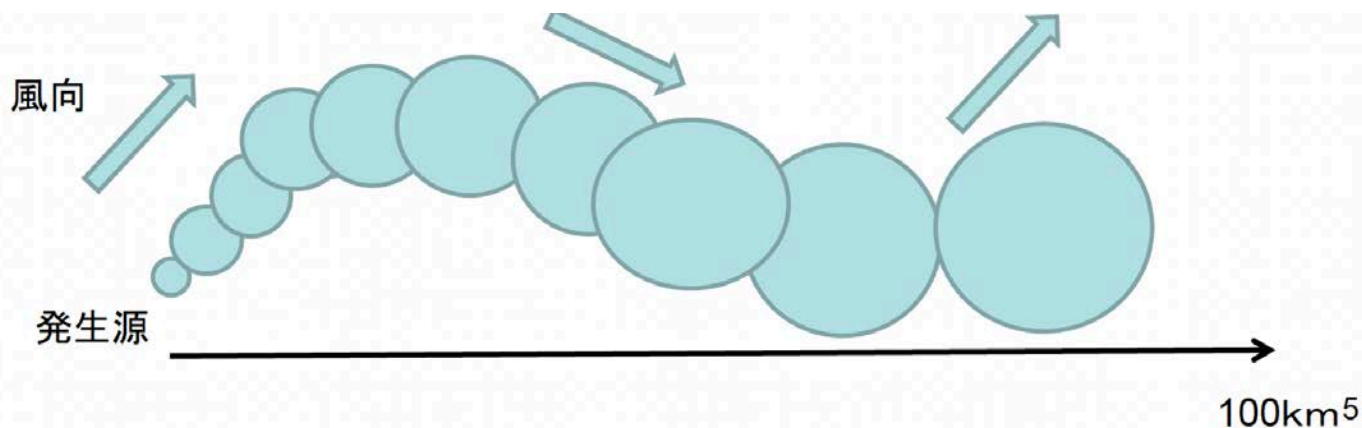
大気拡散モデル: プリューム型

- 放出点から20km以下の平坦な地形上の濃度予測に使われ、移流中風向・風速は一定
- 二酸化硫黄、窒素酸化物、浮遊粒子状物質等の化学反応を行わない物質の拡散を対象



大気拡散モデル：パフ型

- 放出点から50Kmを超える範囲の濃度予測に使われ、移流中の風向・風速変化や都市部・山岳などの複雑地形に対応（50Km未満も予測可能）
- PM_{2.5}やオゾン等の化学反応モデルを組み込んでいる



主な大気拡散モデル

大気拡散モデルのソフト

- アメリカEPAのモデル
AERMOD, CALPUFFなど
- 上記のモデルのカスタマイズ版
TRINITY社版、LAKES社版
- その他のモデル
METI-LIS(日本), ADMS(イギリス)

出典: 東京情報大名誉教授岡本真一氏の環境省主催「小規模火力発電等の環境配慮の推進に関する検討会」(2017年1月26日)でのプレゼン資料(岡本 2017a)のスライド21枚目

CALPUFFモデルとは？

- 米環境保護庁推奨パフ型モデル
- 汚染物質の拡散、化学変化、沈着などを予測
- 気象データは、地域の気象観測データ等を使用（本件では仙台管区気象台など）
- 大気化学に関しては、日本の一般大気環境測定局のオゾンデータ等を使用

CALPUFFモデルとは？（続き）

<前略>

In addition, **CALPUFF** was considered on a case-by-case basis for near-field analyses involving complicated topography. **CALPUFF** has been used throughout the United States for almost all Class I analyses, and is very commonly used throughout the world.

<後略>

出典：Jones(2016)

CALPUFFモデルとは？（続き）

<前略>

When explaining its rationale for demoting
CALPUFF EPA claims that it has issue with the
“management” of CALPUFF. CALPUFF is
somewhat unique in the regulatory modeling
world in that it was not developed, nor has it
been maintained, by EPA.

<後略>

出典：Jones(2016)

CALPUFFモデルとは？（続き）

＜前略＞

The demotion of CALPUFF is perhaps the most controversial of the proposed changes to the GAQM (Guideline on Air Quality Models), and has been met with widespread resistance from the modeling community, both in the United States and abroad.

＜後略＞

出典：Jones(2016)

CALPUFFモデルとは？（続き）

＜前略＞

There are also many in the modeling community that believe CALPUFF is a superior model from a technical standpoint in many instances, and that CALPUFF is being demoted mostly for political purposes.

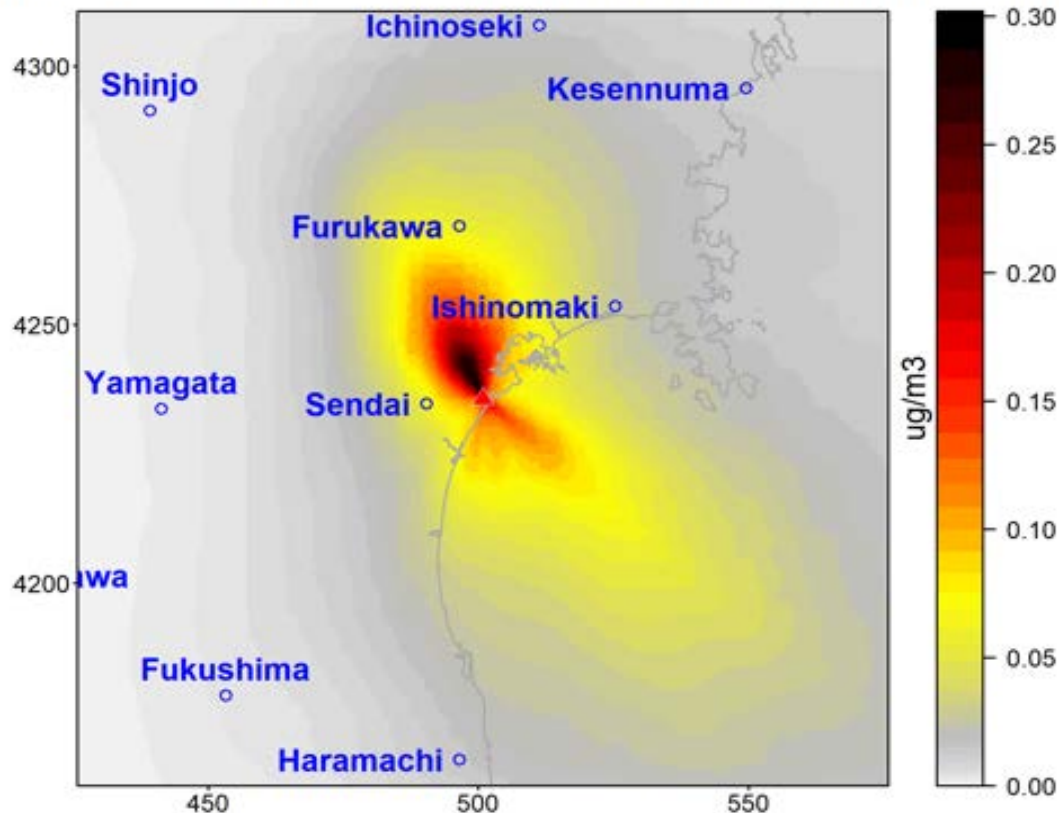
＜後略＞

出典：Jones(2016)

CALPUFFモデル予測結果

仙台PS稼働によるPM_{2.5}年間平均濃度
上昇量（濃度マップ）

Annual mean PM2.5 concentration from Sendai power plant



出典: Myllyvirta and Chuwah (2018)

疫学知見

- 大気汚染濃度と相対危険（死亡率上昇割合）との関係に関しては膨大な研究あり
- 例えば、岩井・内山（2000）は、ディーゼル粒子の相対危険の大きさを明らかにし、日本で年間5277人が死亡と推算
- 本件で用いた相対危険は、世界保健機構（WHO）関連の研究などで一般的に用いられているKrewski et al.（2009）などの数値を用いた

相対危険とは？

要 因	人 数		計
	死亡あり	死亡なし	
曝露群	A	B	A+B
非曝露群	C	D	C+D

$$\begin{aligned}
 \text{相対危険} &= \frac{\text{危険因子曝露群の死亡率}}{\text{危険因子非曝露群の死亡率}} = \text{死亡率の上昇割合} \\
 &= \frac{\frac{A}{A+B}}{\frac{C}{C+D}}
 \end{aligned}$$

相対危険とは？（続き）

$$\text{相対危険} = \frac{\text{PM}_{2.5}\text{曝露群死亡率}}{\text{PM}_{2.5}\text{非曝露群死亡率}}$$

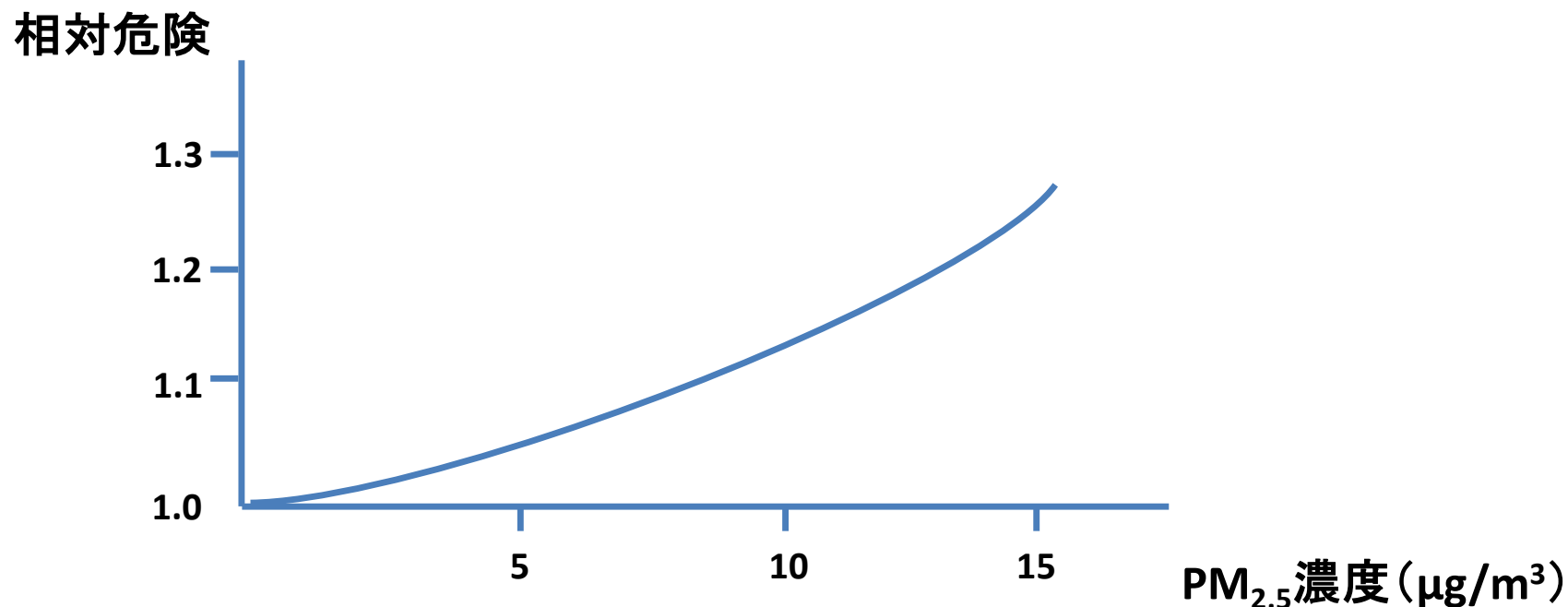
<例>

要 因	人数		計
	肺がん 死亡	健常	
PM _{2.5} 曝露群	4	96	100
PM _{2.5} 非曝露群	3	97	100

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\frac{4}{4+96}}{\frac{3}{3+97}} \\
 &= \frac{4}{3} \\
 &= 1.33
 \end{aligned}$$

（死亡率上昇割合33%）

相対危険と濃度との関係



$$\text{相対危険 (Relative Risk: RR)} = \exp(\beta \Delta x)$$

Δx は濃度上昇量、 β は相対危険とPM_{2.5}濃度との関係を示す係数

死亡者数推算のロジック

追加的な死亡者数は以下の式のように示される

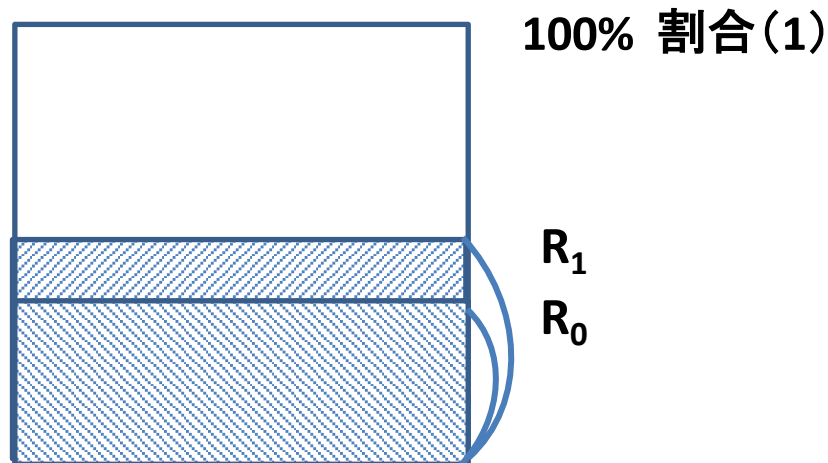
$$\text{死亡者数} = \text{曝露寄与危険割合} \times \text{現時点死亡者数}$$

死亡者数推算のロジック(続き)

曝露寄与危険割合は、Anenberg et al. (2010) から以下のように示せる

$$\text{曝露寄与危険割合} = (R_1 - R_0) / R_1$$

ただし、 R_1 はPM_{2.5}曝露死亡率、 R_0 はPM_{2.5}非曝露死亡率



死亡者数推算のロジック(続き)

RR = $\exp(\beta\Delta x)$ かつ $RR = R_1/R_0$ の場合、これらを
曝露寄与危険割合を示す式 $(R_1 - R_0)/R_1$ に代入
すると下記のようになる

曝露寄与危険割合

$$\begin{aligned} &= (R_1 - R_0)/R_1 = (RR - 1)/RR = 1 - 1/\exp(\beta\Delta x) \\ &= 1 - \exp(-\beta\Delta x) \end{aligned}$$

死亡者数推算のロジック(続き)

したがって、 $PM_{2.5}$ 曝露による追加的な死亡者数は

死亡者数 = 曝露寄与危険割合 × 現時点死亡者数

= $(1 - \exp(-\beta\Delta x)) \times$ 現時点死亡者数

= $(1 - \exp(-\beta\Delta x)) \times$ 現時点死亡率 × 人口

(甲A11号証の式5)

本推算で用いた相対危険

PM _{2.5} 10 μ g/m ³ 増加による相 対危険	中央値	95% 信頼区 間(低)	95%信頼区 間(高)	参照
心肺疾患	1.128	1.077	1.182	Krewski et al. (2009)
虚血性心疾患	1.287	1.177	1.407	Krewski et al. (2009)
肺がん	1.142	1.057	1.234	Krewski et al. (2009)
低出生体重	1.100	1.030	1.180	Dadvand et al. (2013)
NO ₂ 10 μ g/m ³ 増 加による相対 危険				
全原因死亡	1.037	1.021	1.08	WHO(2013a)

推算結果

- 大気拡散モデルによる計算の結果、例えば仙台PS近隣の多賀城市での年間平均PM_{2.5}濃度上昇量は約0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- PM_{2.5}に関しては、その年間平均濃度が10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 上昇すると、例えば肺がんの死亡率が約14%程度上昇(相対危険:1.14)することが疫学知見によって既知
- したがって、仙台PS稼働によって多賀城市における肺がんの死亡率は $14 \times 0.3 / 10 = 0.42\%$ 程度上昇

推算結果(続き)

- 多賀城市などでの現在の肺がんなどによる死亡者数も既知。これらと計算した死亡率上昇割合によって、多賀城市での大気汚染による肺がんなどの死亡者を推算
- なお、実際の計算は、GISを用いて数百メートル四方メッシュで大気汚染物質濃度上昇量および死亡者数を計算し、それを合計

推算結果の全体像

	健康影響(死亡原因)	死亡数等(中間値)	信頼区間(95%)
PM _{2.5} : 死亡	肺がん	1.2	0.5-1.8
	脳卒中	1.8	1.1-2.6
	虚血性心疾患	3.1	2-4.3
	その他の循環器系疾患	1.8	1.1-2.5
	慢性閉塞性肺疾患	0.9	0.5-1.2
	その他の呼吸器疾患	0.3	0.2-0.4
PM _{2.5} : 死亡	PM _{2.5} 合計	9.0	5.4-12.7
NO ₂ : 死亡	全ての原因	10.2	4.0-14.7
PM _{2.5} とNO ₂ : 死亡	合計	19.2	9.4-27.3
低出生体重		1.1	0.4 - 2.0

4. 推算結果の信頼性

推算結果の信頼性は？

信頼性は、他の大気拡散モデルや
疫学知見を用いて同様の分析をし
た研究結果などと比較検証するこ
とによって判断される

信頼性に関する3つの検証

検証1:

- ①CALPUFFモデルによる計算結果
- ②他の大気拡散モデルによる計算結果
- ③仙台PS公表値

上記3つの比較

検証2: 相対危険の大きさに関する種々の疫学知見との比較

検証3: 他の死亡者数推算例との比較

検証1: 他のモデル等との比較

原告は、大気拡散モデルの
比較検証を、兵庫県立大学
の河野仁名誉教授に委託

河野仁氏の経歴・業績等

研究テーマ: 大気拡散、微気象学

研究従事期間: 45年

研究機関名: 兵庫県立大学、大阪市環境保健局

主論文:

- ・「 k - ϵ モデルを用いた沿道の自動車排ガス拡散予測ー野外拡散実験データによる検証ー」、井上亮、河野仁、池本和生、2012、大気環境学会誌、47(2)、96-104.
- ・「都市境界層の大気安定度推定のためのタワーを使った気温鉛直分布の年間観測」、河野仁、渡邊さつき、岩井恒敬、2010、天気、57(8)、589-600.

河野仁氏の経歴・業績等(続き)

133

—総 説—

〔大気環境学会誌〕
J. Jpn. Soc. Atmos. Environ.
35 (3) 133~143 (2000)

欧米における大気拡散モデル—新世代の 近距離大気拡散モデルについて

河 野 仁

Atmospheric Dispersion Models in Europe and America—Short
Range Atmospheric Dispersion Models for Next Generation

Hitoshi KONO

欧米で進行しているガウス型ブリュームモデルの大きな技術革新、新世代拡散モデルについて解説する。新世代拡散モデルの代表として OML モデルを中心にとりあげ、その拡散パラメータが大気境界層のスケーリングパラメータから導かれる過程、そして、ルーチンの気象観測データからこ

河野仁氏の経歴・業績等(続き)



Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere

Volume 24, Issue 2, 1990, Pages 243-251



A micro-scale dispersion model for motor vehicle exhaust gas in urban areas—OMG volume-source model

Hitoshi Kono ^{*, *}, Shozo Ito [†]

[Show more](#)

[https://doi.org/10.1016/0957-1272\(90\)90029-T](https://doi.org/10.1016/0957-1272(90)90029-T)

[Get rights and content](#)

Abstract

A micro-scale dispersion model is presented for estimating the concentration of pollutants from motor vehicle exhaust gas within an area extending 200 m from the side of the road in

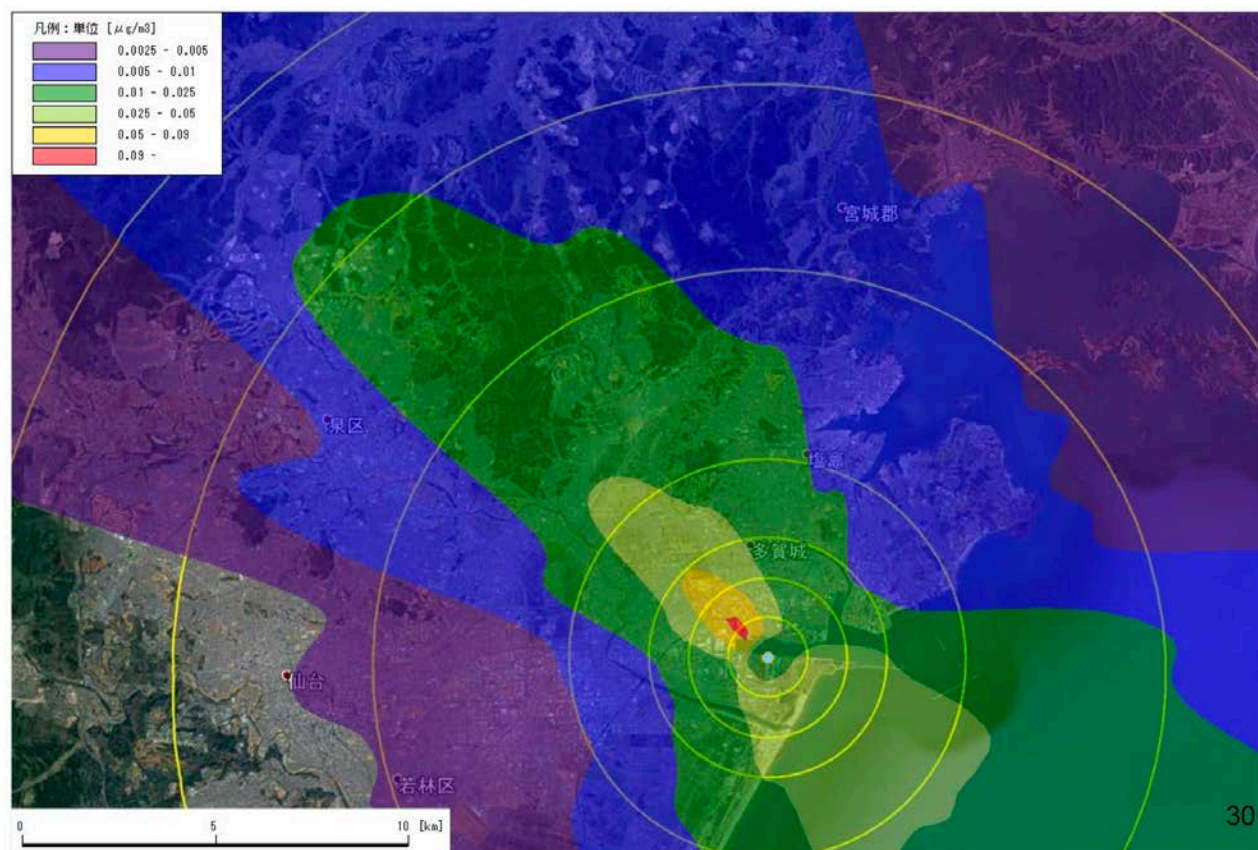
METI-LISモデルによる比較検証

- METI-LISは、日本の経産省が開発した大気拡散モデル(プリューム型)
- 比較検証した結果、最大濃度着地点濃度などにおいてMETI-LIS予測値とCALPUFF予測値との間には高い整合性あり

METI-LISモデルによる予測濃度マップ

仙台PS稼働による近隣地域PM_{2.5}年間平均濃度上昇量

$C_{\max} = 0.096 \mu\text{g}/\text{m}^3$



出典: 河野仁氏提供資料

仙台PSが公表している大気拡散 予測計算との比較検証

- 仙台PSは、工事完成目前にようやく住民説明会開催し、大気汚染物質拡散予測を公表（仙台PS住民説明会資料2017）
- それによると、例えば、SO₂年平均最大着地濃度は0.79ppb。一方、METI-LISでの予測値は0.67ppb
- すなわち、仙台PSの予測値とMETI-LISによる予測値との間の整合性は高い

仙台PSが公表した予測濃度マップ

仙台PS稼働による近隣地域大気汚染物質年間平均濃度上昇量

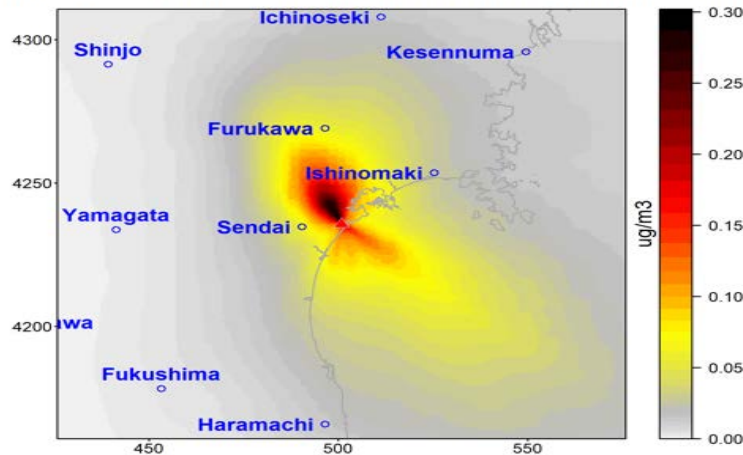


出典：仙台
PS住民説明
会資料
(2017)

3つの予測濃度マップの比較

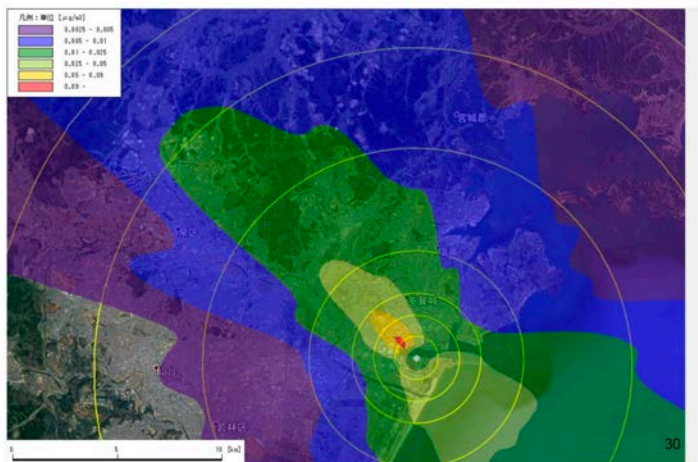
CALPUFF

Annual mean PM2.5 concentration from Sendai power plant



METI-LIS

$C_{max} = 0.096 \mu\text{g}/\text{m}^3$



仙台PS公表



3つの予測値の比較

大気拡散モデル名	著者等	PM _{2.5} 排出量 (t/y) (注1)	PM _{2.5} (1次粒子)年平均最大着地濃度(μg/m ³) (注2)	予測濃度比率 (注3)	PM _{2.5} 年平均最大着地濃度(μg/m ³) (注4)	SO ₂ 排出量 (t/y)	SO ₂ 年平均最大着地濃度(μg/m ³)	予測濃度比率 (注3)	発電所から最大着地濃度地点までの距離 (km)	説明
CALPUF F	Myllyvirta and Cuwah	47.4	0.166	1.73	0.32	937	3.2	1.68	北北西 1km	拡散モデルと化学反応複合モデル
METI-LIS	河野 仁	47.4	0.096	1	—	937	1.91	1	北西1km	拡散モデルのみ
仙台PS公表値	窒素酸化物総量規制マニュアル方式	47.4	0.123 (注2)	1.28	—	937	2.26 (0.79ppb)	1.18	北北西 2.2km	拡散モデルのみ

注1: ばいじん排出量協定値の30%がPM_{2.5}と仮定

注2: 浮遊粒子状物質濃度予測値の30%と仮定

注3: METI-LISの計算結果に対する相対比率

注4: PM_{2.5}は、SO₂、NO₂から硫酸塩、硝酸塩等に化学変化したものを含む

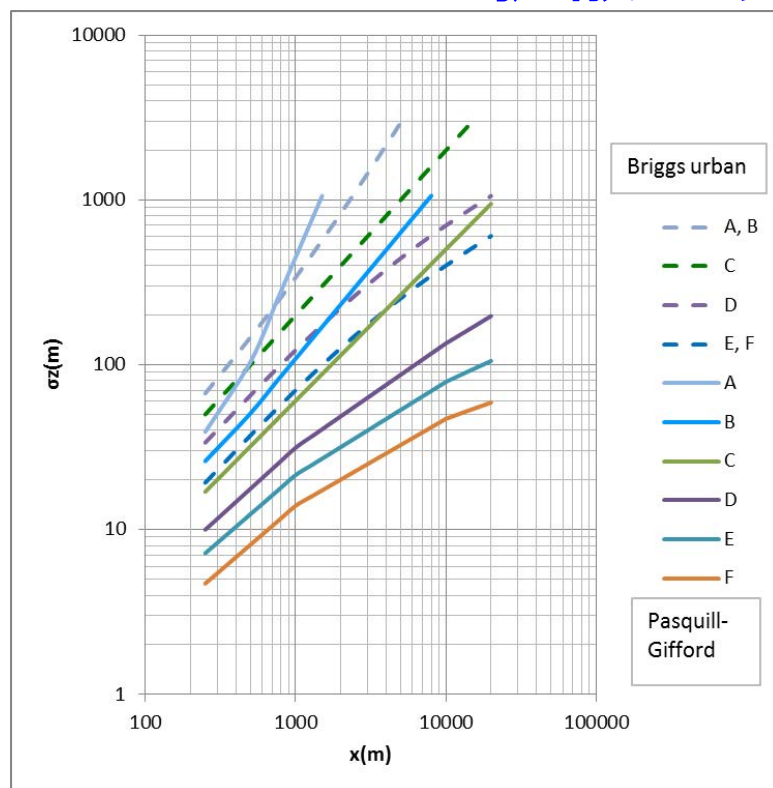
出典: 河野仁氏提供資料

CALPUFFとMETI-LISの数値の違い の理由は、1) 拡散パラメータ、 2) 化学反応・2次生成粒子の考慮

拡散パラメータの種類

① Briggs (都市部用 : **CALPUFF**)

② Pasquill-Gifford (郊外平坦地用 :
METI-LIS)



大気安定度は上下方向の気温分布
(大気の密度分布)と風速によって決
まる。A～Fは大気安定度を示す

都市では建物によって発生する乱流
のために、同じ大気安定度であって
も、拡散幅は大きくなる

検証2:他の疫学知見との比較

- Krewski et al.(2009)後に発表された最新かつ最大の疫学研究はDi et al.(2017)
- 約6000万人を約10年間追跡調査
- その結果、PM_{2.5}の場合、12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下の濃度において、10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 増加した場合の全死因の死亡率の上昇割合は13.6%

→本件で用いた数値はより小さい

検証2:他の疫学知見との比較 (続き)

- Yorifuji et al. (2013)は、静岡県の高齢者約14000人を追跡調査
- その結果、NO₂曝露濃度が10μg/m³上昇すると、全死因の死亡率が12%、心血管系の死亡率が22%、呼吸器系の死亡率が19%、肺がんの死亡率が20%、それぞれ上昇

→本件で用いた数値はより小さい

検証3:他の死亡者数推算との比較

- 平山(2014)は、東京電力管区で、原発再稼働がない場合の石炭火力発電所などからのPM_{2.5}排出増加による死亡者数を推算
- この推算は、CALPUFFやMETI-LISとは異なる大気拡散モデルや異なる相対危険の数値を用いてる
- 平山(2014)の結果は、肺がんだけで年間約30人死亡。また、LANCETカウントダウン・プロジェクトでも日本の石炭火力で年間約1200人死亡と推算
- これらは、発電容量の違いなどを考慮すると、仙台PS稼働による死亡者数推算と整合性あり

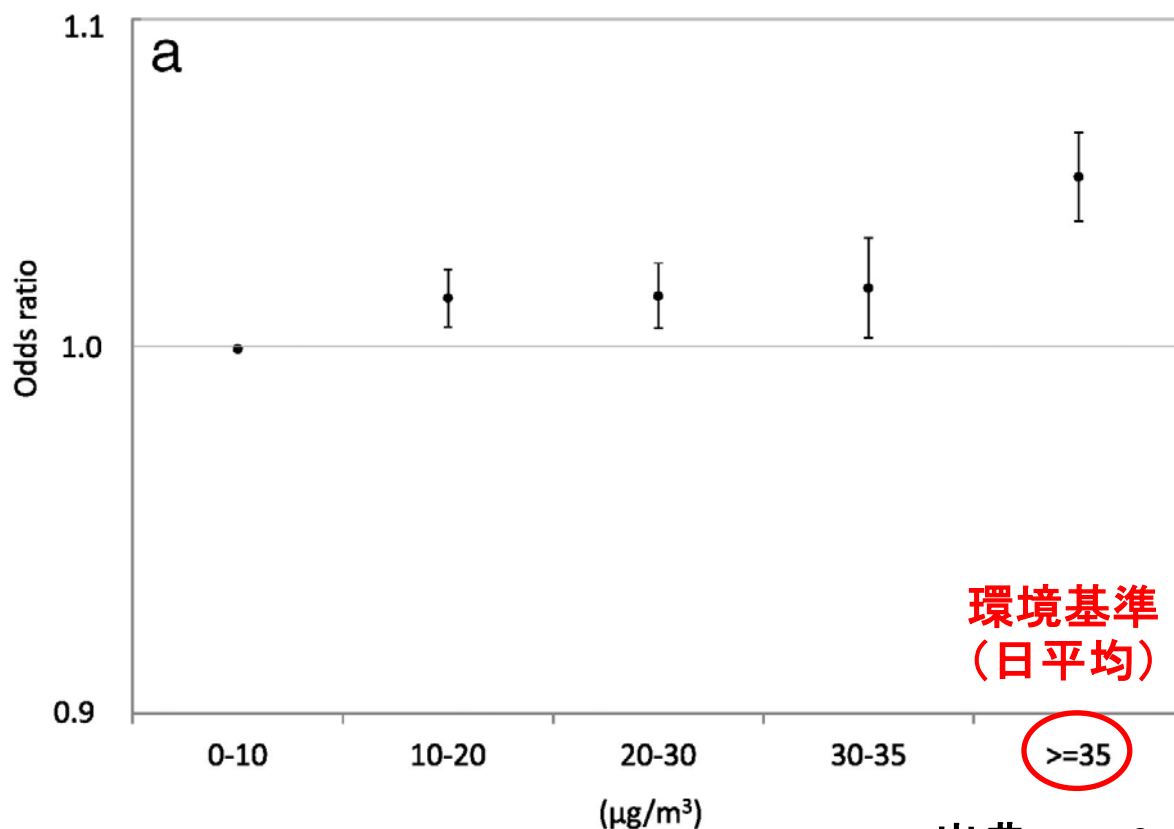
5.環境基準との関係

日本のPM_{2.5}環境基準:

年平均値15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下、日平均値35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下

PM_{2.5}大気汚染に閾値はない

PM_{2.5}曝露(短期)と全死因死亡との関連
(2012年～2013年 東京都23区65歳以上高齢者約66万人対象)



出典: Yorifuji et al. (2016)

PM_{2.5}大気汚染に閾値はない(続き)

<前略>

当時米国では、従来の大気汚染物質(二酸化硫黄、粒子状物質、オゾンなど)の他に微量ではあるが、発がん性のある化学物質が環境中に存在するようになったこと、発がんの影響には「この量までは安全という」という「いき値」(threshold)がないという観点から、1983年に米国NRC(National Research Council), “Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process”を公表し、これからの環境中の発がん物質の管理に関してリスクアセスメントを導入すべきという方針を示した時期であった

<中略>

渡米前からこの「リスク」の考え方が重要になると感じていた私は...

<後略>

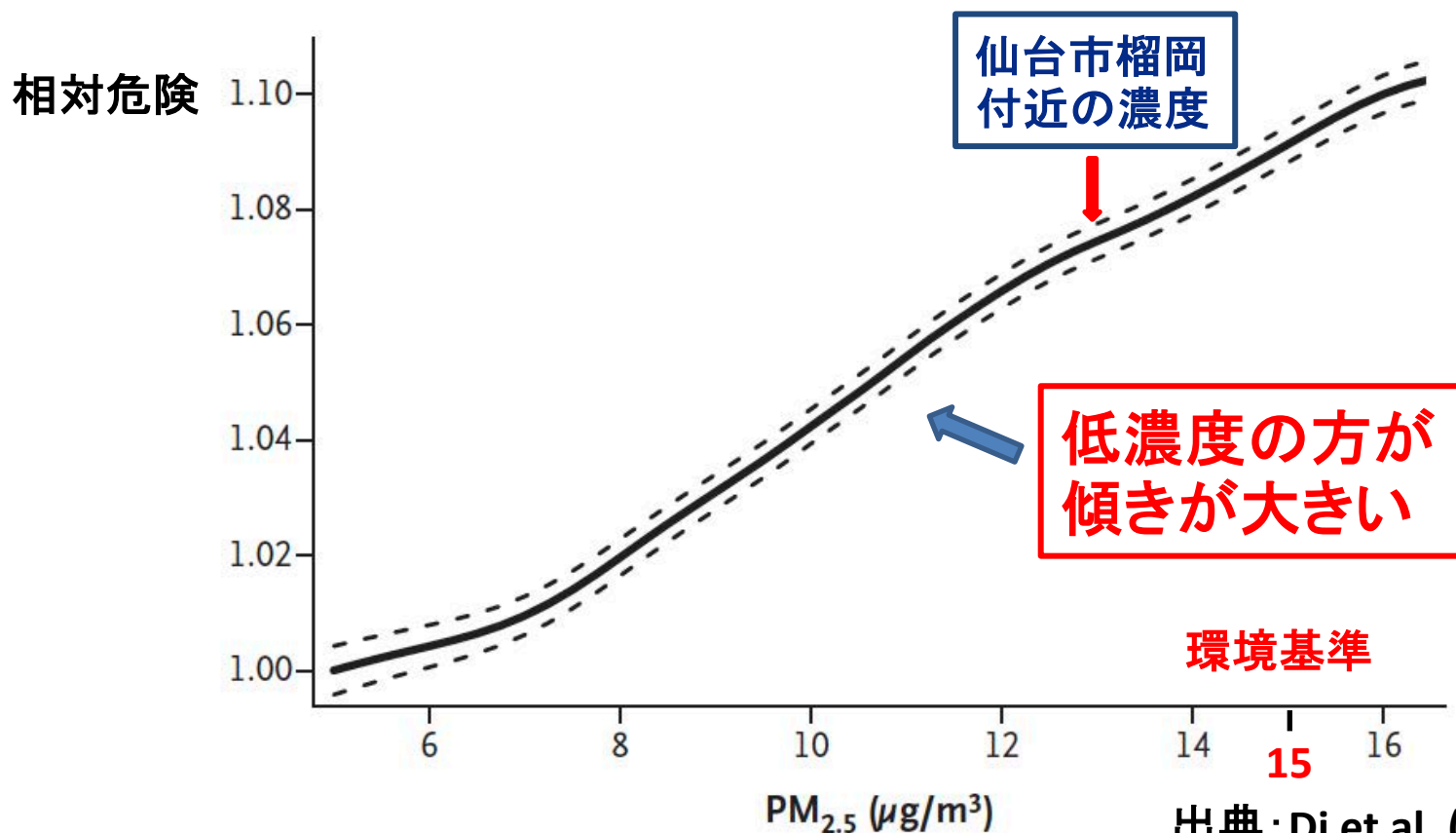
出典: 内山(2018)

PM_{2.5}大気汚染に閾値はない(続き)

- 「PM_{2.5}に関する閾値がない現状では、PM_{2.5}濃度が環境基準の上にあるか下にあるかに関係なく、PM_{2.5}濃度が下がれば健康に良い結果をもたらす」(WHO 2013b)
- 最新の知見(Di et al. 2017)では、低濃度(12μg/m³以下)の方が濃度が減少した場合の健康被害の改善度は高い

低濃度における相対危険

年平均PM_{2.5}濃度とPM_{2.5}長期曝露
による全死亡相対危険との関係



出典: Di et al. (2017)

6. まとめ

仙台PSは極めて具体的で甚大な死亡等リスクを発生させる

- PM_{2.5}等は一般市民にとって「社会通念」としての極めて大きな心配事
- 仙台PSによるPM_{2.5}等排出によって発生する死亡等リスクは具体的に存在し、その大きさ(年間数人～数十人)の信頼性も検証されている
- これは、明らかに原告の人格権および人格権につながる平穏生活権の侵害

このようなリスクは受忍限度内 ではない

- 仙台PS稼働は、原告、地域住民、日本国民全体に受益なし(理由:首都圏に売電、仙台でも宮城でも日本全体でも電力は余っている、雇用効果小、固定資産税収小)
- 一方、蒲生干潟汚染(水銀など)、温室効果ガス大量排出、アセス下限ぎりぎりの出力(実質的なアセス逃れ)などの非公共性を持つ

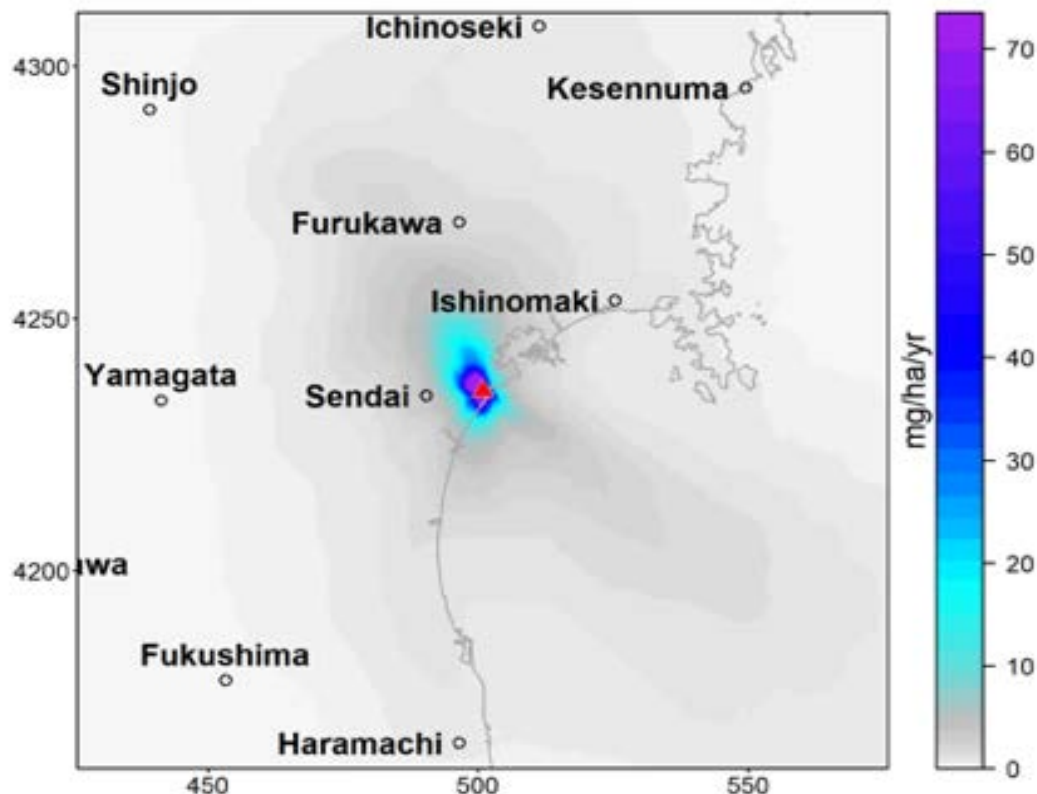
蒲生干潟の汚染も大きな懸念



蒲生干潟の水銀汚染

仙台PS稼働による近隣地域年間水銀降下量

Annual total mercury deposition from Sendai power plant



出典: Myllyvirta and Chuwah (2018)

仙台PSによる温室効果ガス排出

- 2018年10月に発表されたIPCC 1.5°C特別報告書が意味するのは、先進国の石炭火力発電所の即時停止
- 途上国も含めて、多くの国が石炭使用のフェーズアウトを決定
- 先進国の中では、日本のみが石炭火力を逆に増やしている→世界中から非難集中

他にも排出源やリスクがあるという主張は非論理的

- 問題とすべきは、仙台PS稼働によって「新たに追加的」に発生する被害
- 「他にも排出源やリスクがある」というのは「他にも悪い人がいる」という責任転嫁の議論
- 過去の判例では、一人でも身体・健康に関する人格権侵害が認められれば差止めを認容している（名古屋南部公害訴訟判決平成12・11・27）

結論

論理的に仙台PS稼働は
認容できない

参考文献

- 内山巖雄(2018)「リスクマインドが開く環境工学の明日」『環境マインドで未来を拓け』「環境工学への誘い」刊行委員会(編) 京都大学出版会, p.278-281.
- 内山巖雄(2014)「PM2.5問題の今」を聞く～PM2.5による健康影響と今後の対策, 国際環境経済研究所, 2014年2月13日.
<http://ieei.or.jp/2014/02/special201307011/>
- 岩井和郎・内山巖雄(2000)「ディーゼル車排出粒子による人肺癌リスク試算<予測>」大気環境学会誌, 35 (4)229～241.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/taiki1995/35/4/35_4_229/_pdf
- 岡本眞一(2017a)「火力発電における環境アセスメント・大気質に関する予測について」講演スライド
https://www.env.go.jp/policy/assess/5-12stp/stp_h29_2/mat_2_1.pdf
- 岡本眞一(2017b)「火力発電における環境アセスメント・大気質に関する予測について」講演資料
https://www.env.go.jp/policy/assess/5-12stp/stp_h29_2/mat_2_2.pdf
- 仙台PS住民説明会資料(2017) 2017年3月8日公表.
<http://sendai-ps.co.jp/20170308%E4%BB%99%E5%8F%B0PS%E5%9C%B0%E5%9F%9F%E4%BD%8F%E6%B0%91%E8%AA%AC%E6%98%8E%E4%BC%9A%E8%B3%87%E6%96%99.pdf>

参考文献(続き)

- 平山智樹(2014)「関東圏オゾン・PM_{2.5}発生シミュレーションによる火力発電所の外部費用推計」東京大学新領域創成科学位論文.

[https://repository.dl.itc.u-](https://repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=5983&item_no=1&page_id=28&block_id=31)

[tokyo.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=5983&item_no=1&page_id=28&block_id=31](https://repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=5983&item_no=1&page_id=28&block_id=31)

- Anenberg SC et al. (2010) “An estimate of the global burden of anthropogenic ozone and fine particulate matter on premature human mortality using atmospheric modeling”, Environ. Health Perspect. 2010, 118 (9), 1189.

<https://ehp.niehs.nih.gov/0901220/>

- Cohen et al.(2017) “Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015” Lancet 2017; 389: 1907–18.

<https://eprints.qut.edu.au/107859/4/107859.pdf>

- Dadvand et al. (2013)“Maternal Exposure to Particulate Air Pollution and Term Birth Weight: A Multi-Country Evaluation of Effect and Heterogeneity”, Environmental Health Perspectives.

<http://ehp.niehs.nih.gov/pdf-files/2013/Feb/ehp.1205575.pdf>

参考文献(続き)

- Di et al. (2017) “Air Pollution and Mortality in the Medicare Population”, The New England Journal of Medicine, Vol. 376, No.26, pp.2513-2522, June 29, 2017.

<http://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa1702747>

- Goto et al. (2017) “Estimation of excess mortality due to long-term exposure to PM2.5 in Japan using a high-resolution model for present and future scenarios”, Atmospheric Environment, Volume 140, September 2016, Pages 320-332.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231016304484>

- Jones William B. (2016) “Air Dispersion Modeling Update Changes to Guideline on Air Quality Models SO2 Data Requirements Rule”

<http://osmanenvironmental.com/wp-content/uploads/2016/04/Air-Modeling-Update-2-22-16.pdf>

- Kopplitz SN, Jacob DJ, Sulprizio MP, Myllyvirta L, Reid C. (2017) “Burden of Disease from Rising Coal-Fired Power Plant Emissions in Southeast Asia”, Environ Sci Technol. 2017 Feb 7;51(3):1467-1476. doi: 10.1021/acs.est.6b03731. Epub 2017 Jan 12.

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.6b03731>

参考文献(続き)

- Krewski et al. (2009) “Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality”, Health Effects Institute.
<https://www.healtheffects.org/system/files/Krewski140.pdf>
- Lancet (2018) “The Lancet Countdown on health and climate change: from 25 years of inaction to a global transformation for public health”.
[http://www.thelancet.com/pdfs/journals/lancet/PIIS0140-6736\(17\)32464-9.pdf](http://www.thelancet.com/pdfs/journals/lancet/PIIS0140-6736(17)32464-9.pdf)
- Myllyvirta L. and Chuwah C. (2018) “Assessing air pollution and health impacts of Sendai Power Station operation”, July 4, 2018.
- US EPA (2011) “Policy Assessment for the Review of the Particulate Matter National Ambient Air Quality Standards” .
- Yorifuji T, Kashima S, Tsuda T, Ishikawa-Takata K, Ohta T, Tsuruta K, Doi H. (2013) “Long-term exposure to traffic-related air pollution and the risk of death from hemorrhagic stroke and lung cancer in Shizuoka, Japan”, Sci Total Environ. 2013 Jan 15;443:397-402.

参考文献(続き)

- Yorifuji Takashi, Kashima Saori, Doi Hiroyuki (2016) “Associations of acute exposure to fine and coarse particulate matter and mortality among older people in Tokyo, Japan”, Science of The Total Environment, Volume 542, Part A, 15 January 2016, Pages 354-359 .
- WHO (2013a). Health risks of air pollution in Europe-HRAPIE project.
http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/238956/Health_risks_air_pollution_HRAPIE_project.pdf?ua=1
- WHO (2013b) “Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project Technical Report” .
http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1