

新規石炭火力発電所による 大気環境および健康への影響

～東京・千葉エリアと大阪・兵庫エリアのケーススタディ～

ラウリ・ミルヴィエルタ(Lauri Myllyvirta)
グリーンピース・インターナショナル
石炭・大気汚染部門 上級国際キャンペーナー

2016年5月

目次

要約	2
調査対象の石炭火力発電所.....	4
計画中の発電所からの大気汚染物質の排出予測.....	7
結論	11
大気環境への影響：東京・千葉のケーススタディ	11
大気環境への影響：大阪・兵庫のケーススタディ	14
健康影響	17
結論と政策提言.....	18
資料と方法.....	18

要約

大気汚染は、日本に限らず世界中で最も重大な環境および健康上の問題である。「世界の疾病負担研究 (GBD: Global Burden of Disease)」は、2013 年、日本において 1 日あたり約 180 人の早期死亡が大気汚染によるものと推定している¹。1990 年から 2013 年の間、人口増加、高齢化、疫学的変化および都市化に伴い大気汚染による健康被害の影響を受けやすくなったことにより、死者数は 40%増加したとされている。

しかし、日本は石炭火力発電所の大幅な増設を計画している。石炭火力発電は、大気汚染の主要発生源の 1 つであり、新規建設により発電部門からの大気汚染物質排出を大幅に増加させる可能性がある。新しい火力発電所は、熱効率が良く、効率的な排出抑制装置が設置されることから、一般的に古い発電所に比べて発電量あたりの大気汚染物質排出量は少なくなるが、それでも燃焼排ガス中には高濃度の二酸化硫黄 (SO₂)、窒素酸化物 (NO_x)、微小粒子状物質が含まれる。さらに、新しい石炭火力発電設備に投資することは、この先数十年の排出を固定化してしまうことになる。経済先進諸国の中で日本は、いまだに新規石炭火力発電所の建設を計画している数少ない国の 1 つであり、その国々の中でも計画規模の大きさは突出している。

発電所の建設が計画されている場所の多くは人口過密地域に近く、健康被害の影響も大きくなる可能性が高いと考えられる。本報告書では、東京・千葉エリアと大阪・兵庫エリアにおける火力発電所計画の大気環境と健康への影響についての 2 つのケーススタディをとりまとめている。東京の 200km 圏内には設備容量 7,500MW (750 万 kW) に及ぶ 10 件の計画が、大阪・兵庫エリアには、6,500MW (650 万 kW) に及ぶ 15 件の計画が点在している。

これらの計画中の火力発電所の燃焼排ガス中の汚染濃度について可能な限り情報を入手し、これらを基に大気汚染物質の排出を推定した。入手した情報に基づき本調査で使用した排出量の水準は、日本の法的基準で許容される最大値を大きく下回るものである。

その上で、計画中の火力発電所からの汚染排出によって生じる可能性のある大気環境への影響を、汚染物質の長距離移動とその影響評価をするために米国環境保護庁 (EPA) が推奨する CALPUFF 大気汚染モデルシステム²を使って調査した。排出された大気汚染物質に暴露した際の健康影響をモデル化し、世界保健機構 (WHO) の指針に従って評価した。

その結果、東京・千葉エリアでは、全ての計画中の発電所が建設されて稼働したとすれば、現在の大気汚染レベルに加え、計画されている新規石炭火力発電所による健康影響がさらに悪化することになり、その影響は 260 人/年 (95%信頼区間 140~370) の早期死亡者数と、30 人の低出生体重児として現れると推定される。早期死亡者のうち、180 人は微小粒子状物質 PM_{2.5} への、80 人は二酸化窒素 (NO₂) への暴露に起因する死亡とされる。これは、一般的な火力発

¹米国ワシントン大学健康指標評価研究所 (IHME) 世界の疾病負担研究 (GBD) 比較、ワシントン州シアトル：IHME、ワシントン大学 2015。出所 <http://vizhub.healthdata.org/gbd-compare>

²米国環境保護庁 (EPA)：推薦/推奨モデル https://www3.epa.gov/ttn/scram/dispersion_prefrec.htm#calpuff

電所の稼働年数である 40 年間に、計 6,000～1 万 5,000 人が早期死亡し、1,200 人の低出生体重児が出産される原因となり得ることを示している。

同様に、大阪・兵庫エリアでは、全ての計画中の発電所が建設されて稼働したとすれば、新規石炭火力発電所による影響は、200 人/年（95%信頼区間 100～208）の早期死亡者と、20 人の低出生体重児として現れると推定される。早期死亡者のうち、130 人は微小粒子状物質 PM2.5 への、70 人は二酸化窒素（NO2）への暴露に起因する死亡とされる。発電所が 40 年稼働すると想定すれば、4,000～1 万 1,000 人が早期死亡し、800 人の低出生体重児が出産される原因となり得ることを示している。

モデルによれば、影響は高空間分解でカバーされる発電所の直近から、日本の大部分と朝鮮半島を含む 1,500km 四方にまで及ぶと推定される。この範囲には、約 2 億 1,000 万人が住んでいる。

発電所からの排気は、発電所の場所および上空から数百 km にわたる広域の大気中の有毒な微粒子と NO2 の濃度を引き上げる。SO2、NOx およびばい塵の排出は有毒な PM2.5 のレベルを上昇させ、成人が脳卒中、肺がん、心疾患、呼吸器疾患といった病気にかかるリスクを引き上げ、子供が呼吸器症状を引き起こすリスクも増加させる。NO2 への直接暴露が増えることは、様々な慢性疾患による死亡リスクを増加させ、既往歴を持つ人の呼吸器症状を悪化させる原因となる。重要なのは、CALPUFF モデルシステムは、SO2 と NOx の排出が化学変化し大気中の二次的な PM2.5 汚染となることもシュミレーションできる点である。このことは、大気汚染の過程では大変重要であるにもかかわらず、通常的环境影響評価や規制では無視されている。

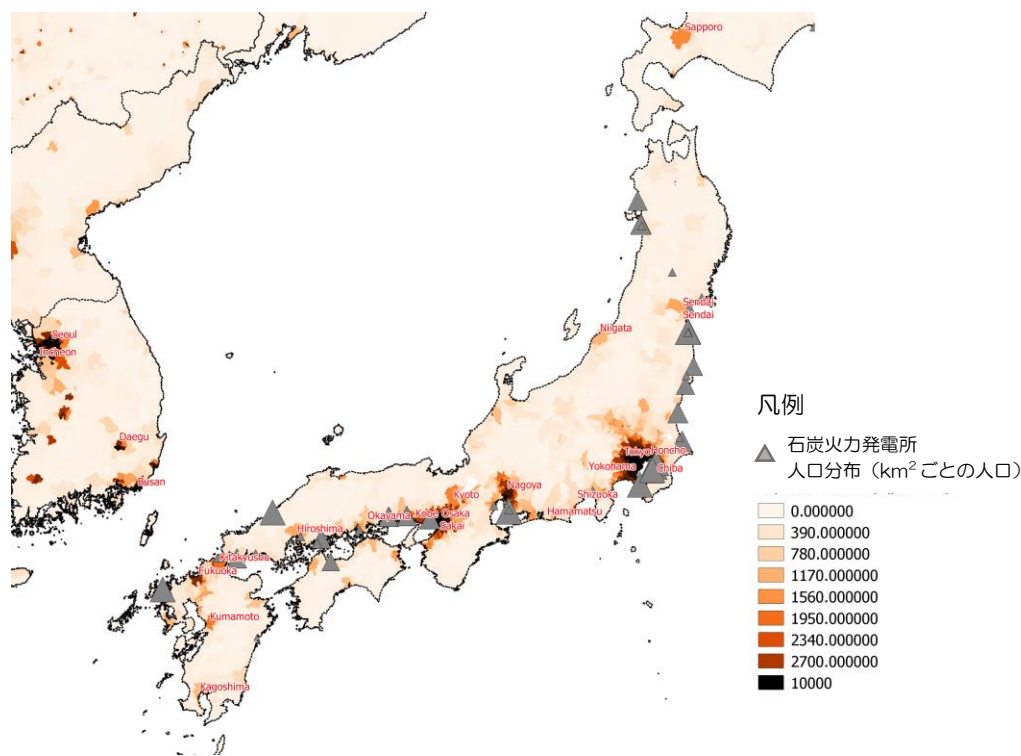


図1. 石炭火力発電所の位置と人口分布

調査対象の石炭火力発電所

本調査では、日本の二大人口集中地域周辺の発電所を対象とした。モデルにはそれぞれのケーススタディの該当地域にあるすべての新規の石炭火力発電所を入れている。水平解像度は最低でも 10km 四方だが、主要な人口集中地域の解析においては 5km 四方を採用した。

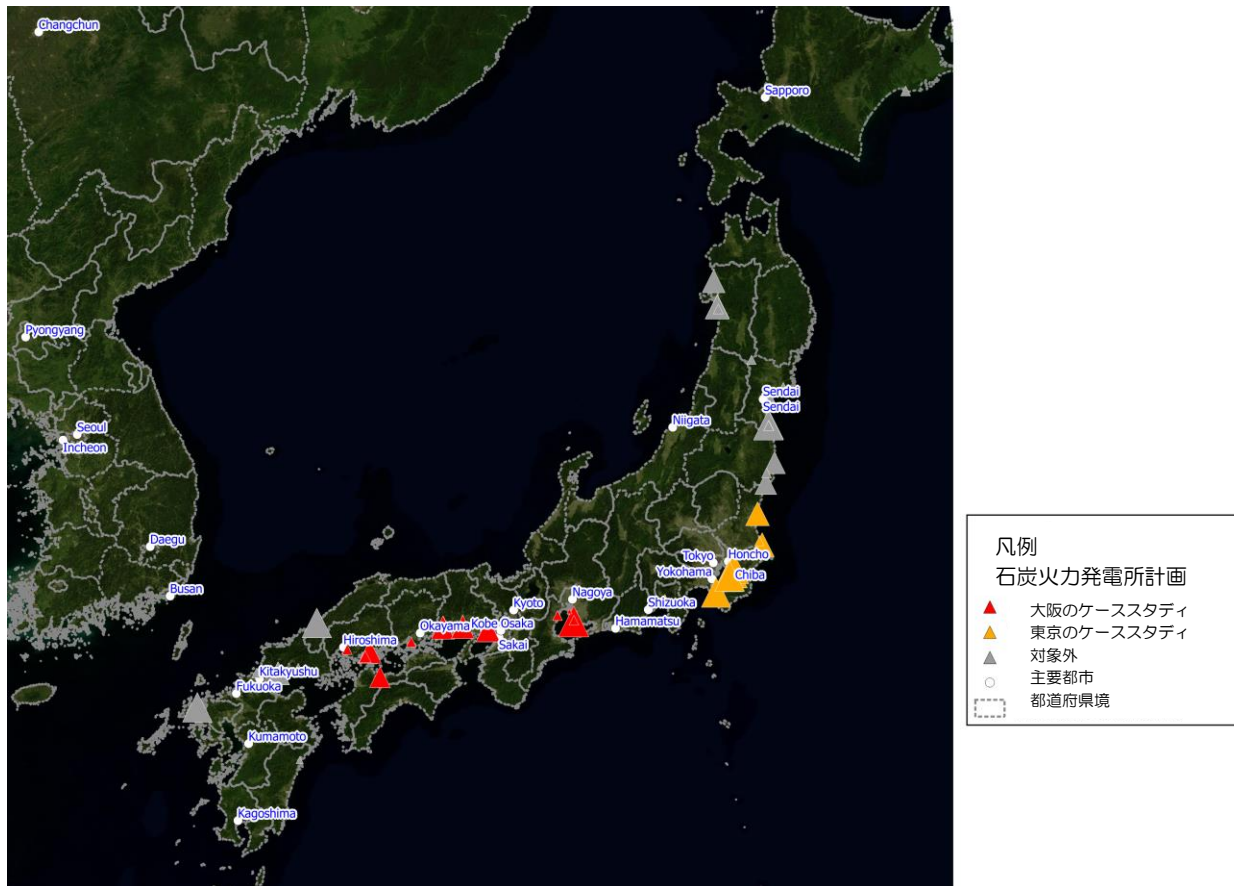


図2. 日本の石炭火力発電所計画 (ケーススタディ対象発電所を含む)

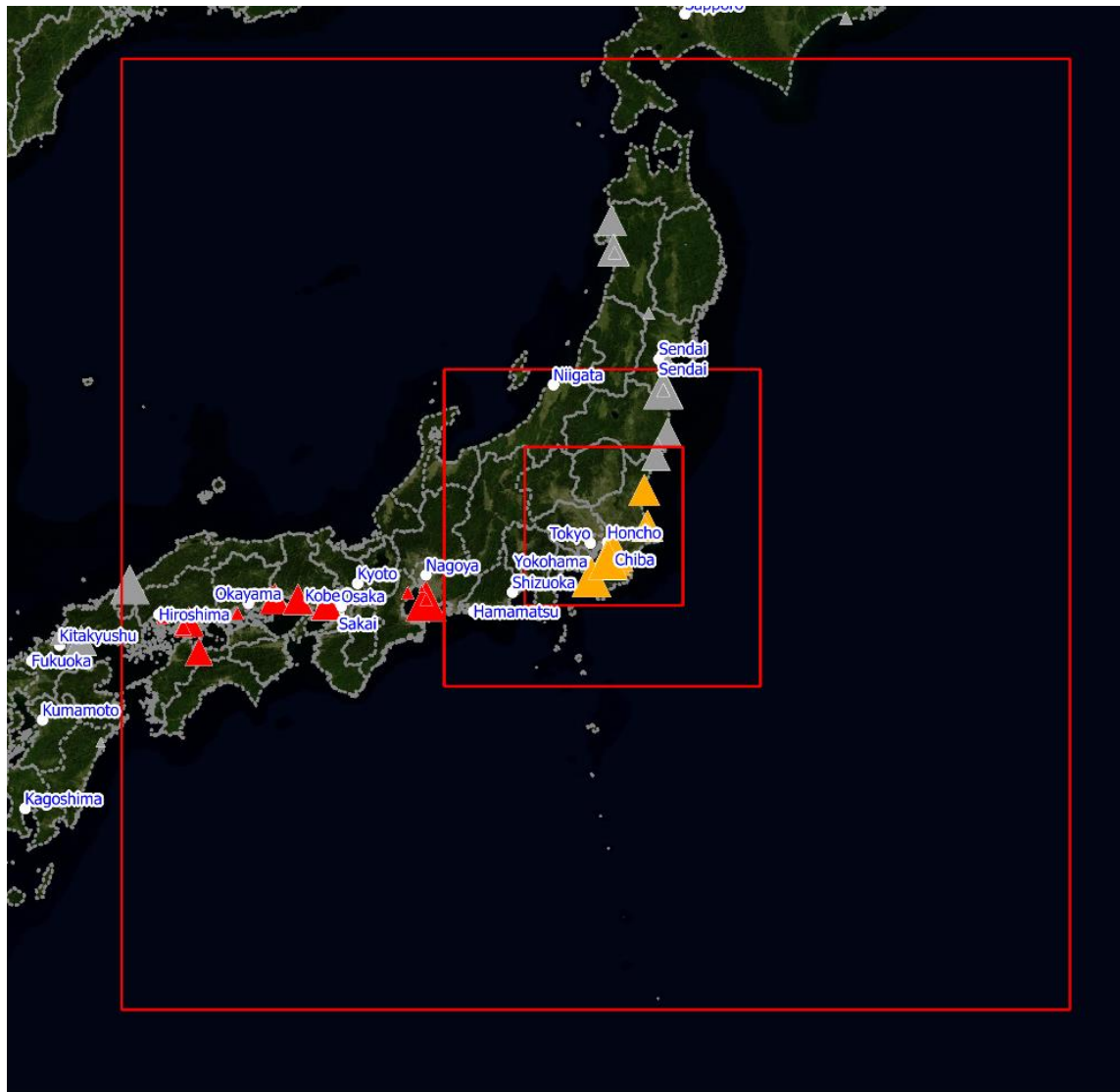


図3. 大気汚染モデルCALPUFFのモデルエリア：東京・千葉のケーススタディ（赤枠内）

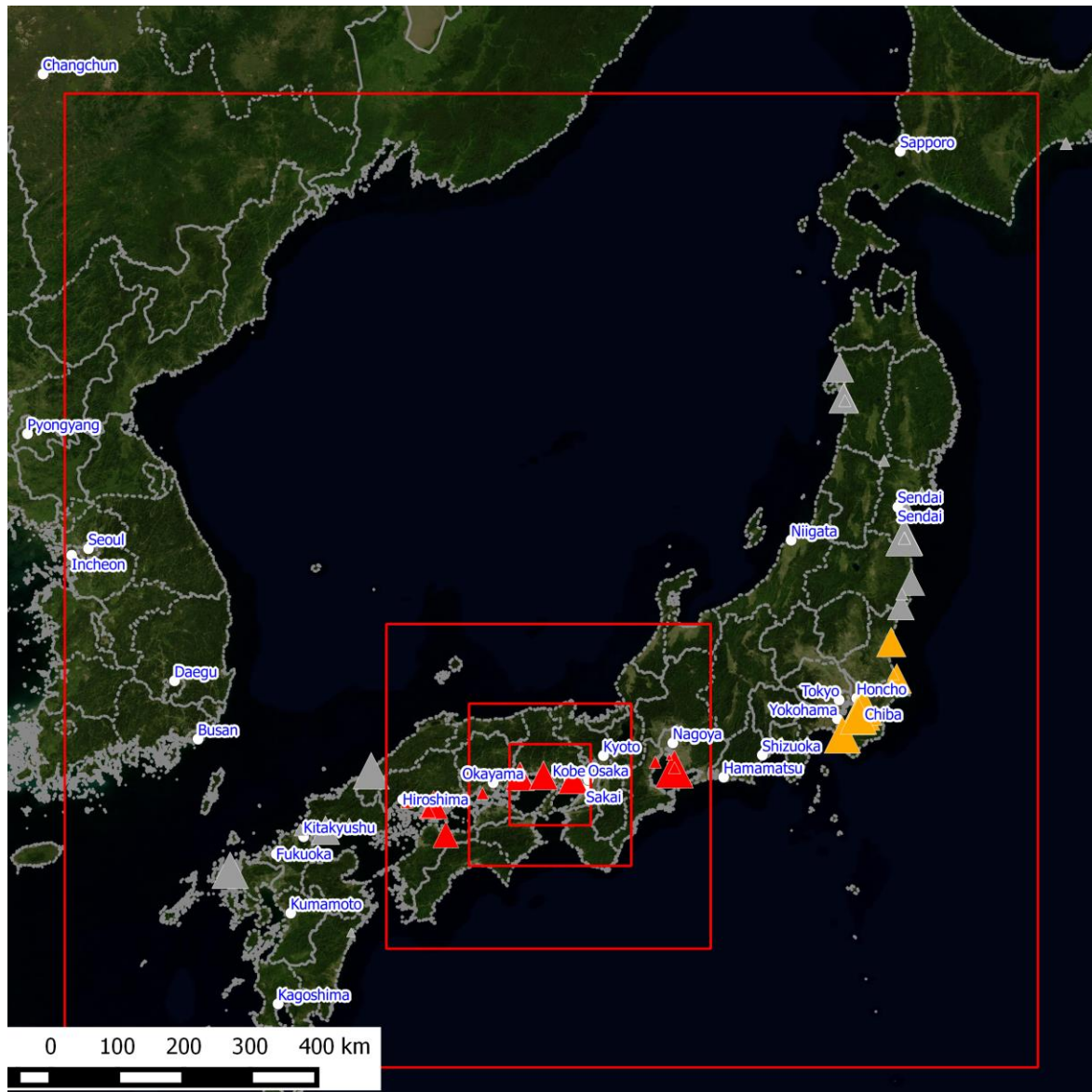


図4. 大気汚染モデルCALPUFF のモデルエリア：大阪・兵庫のケーススタディ（赤枠内）

計画中の発電所からの大気汚染物質の排出予測

石炭火力発電所の健康影響評価において最初に行ったのは、有害物質の排出量の推定である。石炭の燃焼には、常に大量の大気汚染物質（主にSO₂、NO_x、ばい塵など）の生成を伴う。新規石炭火力発電所は、決められた排出規制に準じていなければならないので、燃焼排ガスの汚染物質の多くを除去する排出制御装置を取り付けているが、物理的に（経済的にも）すべての汚染物質を除去することは不可能である。計画中の発電所からの大気汚染物質の排出は、計画の段階で入手できる限りの燃焼排ガス中の汚染物質濃度データを基に推定した。

下表に、本調査で対象とした石炭火力発電所の基本情報を示す。これらの発電所の情報は、気候ネットワークが更新している石炭発電所新設ウォッチを参照した。

表1. ケーススタディ対象発電所の基本情報

地域	発電所名	企業名/運営会社	緯度	経度	設備容量 (MW)	運転開始予定	状況	発電技術
東京・千葉エリアのケーススタディ								
千葉	市原火力発電所	市原火力発電合同会社	35.51	140.05	1000	2024年	アセスメント実施中	超々臨界(USC)
茨城	鹿島火力発電所2号機	鹿島パワー	35.94	140.67	650	2020年7月	アセスメント実施中	超々臨界(USC)
千葉	千葉袖ヶ浦火力発電所2号機(仮)	千葉袖ヶ浦エナジー	35.47	139.98	1000	2026年	アセスメント実施中	超々臨界(USC)
千葉	千葉袖ヶ浦火力発電所1号機(仮)	千葉袖ヶ浦エナジー	35.45	139.97	1000	2025年	アセスメント実施中	超々臨界(USC)
茨城	常陸那珂共同火力発電所1号機	常陸那珂ジェネレーション	36.44	140.61	650	2021年前半	アセスメント実施中	超々臨界(USC)
千葉	未定	中国電力	35.58	140.09	1000	2020年前後	計画中(公式発表なし)	不明
神奈川	横須賀火力発電所	東京電力	35.21	139.72	1000	2020年	計画中(公式発表なし)	超々臨界(USC)
千葉	不明	関西電力	35.46	140.00	1000	不明	計画中(公式発表なし)	不明
茨城	不明	(かみずパワー)	36.00	140.62	112	2018年	計画中(公式発表なし)	不明
静岡	鈴川エネルギーセンター	鈴川エネルギーセンター	35.14	138.71	100	2016年9月	建設中	微粉炭ボイラー(PC)
大阪・兵庫エリアのケーススタディ								
愛知	武豊5号機	中部電力	34.82	136.92	1070	2022年3月	アセスメント実施中	超々臨界(USC)
広島	竹原新1号機	電源開発	34.34	132.96	600	2020年6月	建設中	超々臨界(USC)
愛媛	西条発電所	四国電力	33.93	133.17	500	2022年度	アセスメント実施中	超々臨界(USC)
広島	大崎クールジェン	大崎クールジェン	34.26	132.87	166	2017年3月	建設中	石炭ガス化複合発電(IGCC)
三重	不明	MC川尻エネルギーサービス株式会社	34.93	136.61	112	2019年	アセスメント実施中	微粉炭ボイラー(PC)

広島	海田バイオマス混焼発電所	広島ガス株式会社	34.36	132.52	112	2019年	アセスメント実施中	循環流動層ボイラー(CFB)
愛知	中山名古屋第2発電所	中山名古屋共同発電	34.84	136.93	110	2016年度下期	建設中	汽力発電(蒸気タービン)
岡山	水島エネルギーセンター	水島エネルギーセンター	34.50	133.76	110	2017年夏	建設中	不明
愛知	不明	名南共同エネルギー株式会社	34.99	136.84	31	2018年1月	計画中(公式発表あり)	微粉炭ボイラー(PC)
兵庫	赤穂発電所(現・1号機)	関西電力	34.74	134.38	600	2020年	アセスメント実施中	超臨界(SC)
兵庫	赤穂発電所(現・2号機)	関西電力	34.74	134.37	600	2020年	アセスメント実施中	超臨界(SC)
兵庫	高砂発電所新1号機	電源開発	34.75	134.76	600	2021年度	アセスメント実施中	超々臨界(USC)
兵庫	高砂発電所新2号機	電源開発	34.75	134.76	600	2027年度	アセスメント実施中	超々臨界(USC)
兵庫	神戸製鉄所火力発電所(仮)新設2号機	神戸製鋼所	34.71	135.25	650	2022年度	アセスメント実施中	超々臨界(USC)
兵庫	神戸製鉄所火力発電所(仮)新設1号機	神戸製鋼所	34.71	135.25	650	2021年度	アセスメント実施中	超々臨界(USC)

CALPUFF モデルシステムでの解析には、排出源の位置、それぞれの汚染物質の排出量、煙の出方に影響する煙突の特徴(煙突高と煙突径、燃焼排ガスの温度と速度)の情報が必要となる。これらのデータはいつも入手できるとは限らないが、気候ネットワークが計画文書および公開情報などから入手した情報を利用した。

表2. 大気汚染物質の排出推定に利用したデータ

発電所名	CO2 排出量 (k- tonne- CO2/year)	CO2 排出率 (g- CO2/ kWh)	SOX 排出濃度 (ppm)	NOX 排出濃度 (ppm)	煤塵排出 濃度 (mg/m3)	円筒高 (m)	煙突径 (m)	燃焼排 ガス温度 (°C)	燃焼排 ガス速度 (m/s)
東京・千葉エリアのケーススタディ									
市原火力発電所	6000		25	15	5	180	7	90	30
鹿島火力発電所2号機	3439	767	25	15	5	180		90	30
千葉袖ヶ浦火力発電所2号機(仮)	6000		22	15	5	200	7.25	90	30
千葉袖ヶ浦火力発電所1号機(仮)	6000		22	15	5	200	7.25	90	30
常陸那珂共同火力発電所1号機	3900		22	15	5	180		90	31.5
不明(中国電力)	6000		21.0625	19.125	6.461538				
横須賀火力発電所	6000		21.0625	19.125	6.461538				
不明(関西電力)	6000		21.0625	19.125	6.461538				
不明(茨城神栖)	600		19	40	10				

鈴川エネルギーセンター	600		19	40	10				
大阪・兵庫エリアのケーススタディ									
武豊火力発電所5号機	6420		25	15	6.461538				
竹原発電所新1号機	3160	766	18	20	7	200		90	35.9
西条発電所新1号機	3000		21.0625	19.125	6.461538				
大崎クールジェン	706	692	8	5	3				
不明 (MC 川尻)	672		19	40	10				
海田バイオマス混焼発電所	672		19	40	10				
中山名古屋第2発電所	660		19	40	10				
水島エネルギーセンター	660		19	40	10				
不明 (名南)	187		19	40	10				
赤穂発電所 (現・1号機)	3350	800	19	16	8				
赤穂発電所 (現・2号機)	3350	800	19	16	8				
高砂発電所新1号機	3600		18	22	8	180		70	20
高砂発電所新2号機	3600		18	22	8	180		70	20
神戸製鉄所火力発電所 (仮) 新設2号機	3900		13	20	5	150		90	30
神戸製鉄所火力発電所 (仮) 新設1号機	3900		13	20	5	150		90	30

必要なデータが入手できなかった場合には、同等の規模および技術の発電設備の中央値で代用した。このように必要に応じて仮定の数字を使用し、CO₂ 排出量から標準化された燃焼排ガスの排出量と煙突排出濃度の推定値から年間の大気汚染排出量を算出した。

表3. 本調査に利用した排出量と煙突の特徴データ

発電所名	SO _x as SO ₂ , t/a	NO _x as NO ₂ , t/a	PM ₁₀ , t/a	PM _{2.5} , t/a	煙突高 (m)	煙突径 (m)	燃焼排ガス温度 (°C)	燃焼排ガス速度 (m/s)
東京・千葉エリアのケーススタディ								
市原火力発電所	1480.4	654.5	106.9	53.5	180.0	7.0	90.0	30.0
鹿島火力発電所2号機	1014.0	469.5	61.3	30.6	180.0	7.0	90.0	30.0
千葉袖ヶ浦火力発電所2号機 (仮)	1419.5	711.4	106.9	53.5	200.0	7.3	90.0	30.0
千葉袖ヶ浦火力発電所1号機 (仮)	1419.5	711.4	106.9	53.5	200.0	7.3	90.0	30.0
常陸那珂共同火力発電所1号機	892.3	441.1	69.5	34.7	180.0	7.0	90.0	31.5
中国電力・JFE スチール・東京ガス/千葉県千葉市	1317.7	839.5	138.2	69.1	180.0	7.0	90.0	30.0

横須賀火力発電所	1317.7	839.5	138.2	69.1	180.0	7.0	90.0	30.0
関西電力/千葉県	1317.7	839.5	138.2	69.1	180.0	7.0	90.0	30.0
丸紅・関西電力/茨城県 神栖地区	118.9	175.6	21.4	10.7	80.0	6.5	51.0	20.0
鈴川エネルギーセンター	118.9	175.6	21.4	10.7	80.0	6.5	51.0	20.0
東京のケーススタディ計	10416.4	5857.6	908.7	454.3				
大阪・兵庫エリアのケーススタディ								
武豊火力発電所 5 号機	1673.5	704.5	147.8	73.9	180.0	7.0	90.0	30.0
竹原発電所新 1 号機	730.0	569.1	78.8	39.4	200.0	7.0	90.0	35.9
西条発電所新 1 号機	658.8	419.7	69.1	34.5	180.0	7.0	90.0	30.0
大崎クールジェン	243.3	170.7	7.5	3.8	80.0	6.5	120.0	31.0
MC 川尻エネルギーサービス /三重県四日市市	133.1	196.6	23.9	12.0	80.0	6.5	51.0	20.0
海田バイオマス混焼発 電所	133.1	196.6	23.9	12.0	80.0	6.5	51.0	20.0
名古屋第 2 発電所	130.7	193.1	23.5	11.8	80.0	6.5	51.0	20.0
水島エネルギーセンタ ー	130.7	193.1	23.5	11.8	80.0	6.5	51.0	20.0
名南共同エネルギー/愛知 県知多市	37.0	54.7	6.7	3.3	80.0	6.5	51.0	20.0
赤穂発電所（現・1 号 機）	663.7	392.1	95.5	47.7	180.0	7.0	90.0	30.0
赤穂発電所（現・2 号 機）	663.7	392.1	95.5	47.7	180.0	7.0	90.0	30.0
高砂発電所新 1 号機	750.3	640.3	102.6	51.3	180.0	7.0	70.0	20.0
高砂発電所新 2 号機	750.3	640.3	102.6	51.3	180.0	7.0	70.0	20.0
神戸製鉄所火力発電所 （仮）新設 2 号機	527.3	597.6	69.5	34.7	150.0	7.0	90.0	30.0
神戸製鉄所火力発電所 （仮）新設 1 号機	527.3	597.6	69.5	34.7	150.0	7.0	90.0	30.0
大阪のケーススタディ計	7753.0	5958.4	940.1	470.0				

抽出している煙突排出濃度が比較的低いので、排出される全てのばい塵は直径 $10 \mu\text{m}$ (PM10) 以下だと考えられるが、そのうちの半分(50%)は直径 $2.5 \mu\text{m}$ (PM2.5) 以下になると推定される。これは高効率バグハウス向けの米国環境保護庁 (EPA) の排出要素 AP-42 初期値に一致した数字である。より詳細な運用データが得られない場合には、排出は年間を通じて均一に行われると推定している。

これらの排出データを、CALPUFF モデリングシステムを利用した発電所の大気環境影響のモデル分析のための基本情報とした。

結論

大気環境への影響：東京・千葉のケーススタディ

本調査で対象とした設備は、千葉の中部・北部、茨城南部、および東京首都圏の大気環境に重大な影響を与えると考えられる。最悪の条件下では、発電所からの1日のPM2.5排出量は年平均と比較して20%以上増加し、NO2排出量も同様に10%以上増加する。大規模計画によって1日のPM2.5排出量が著しく増加する都市は、千葉市、船橋市、相模原市、横浜市および東京首都圏となった。NO2の影響が最も大きく出たのは千葉市となった。

特に夏季の影響は著しい。

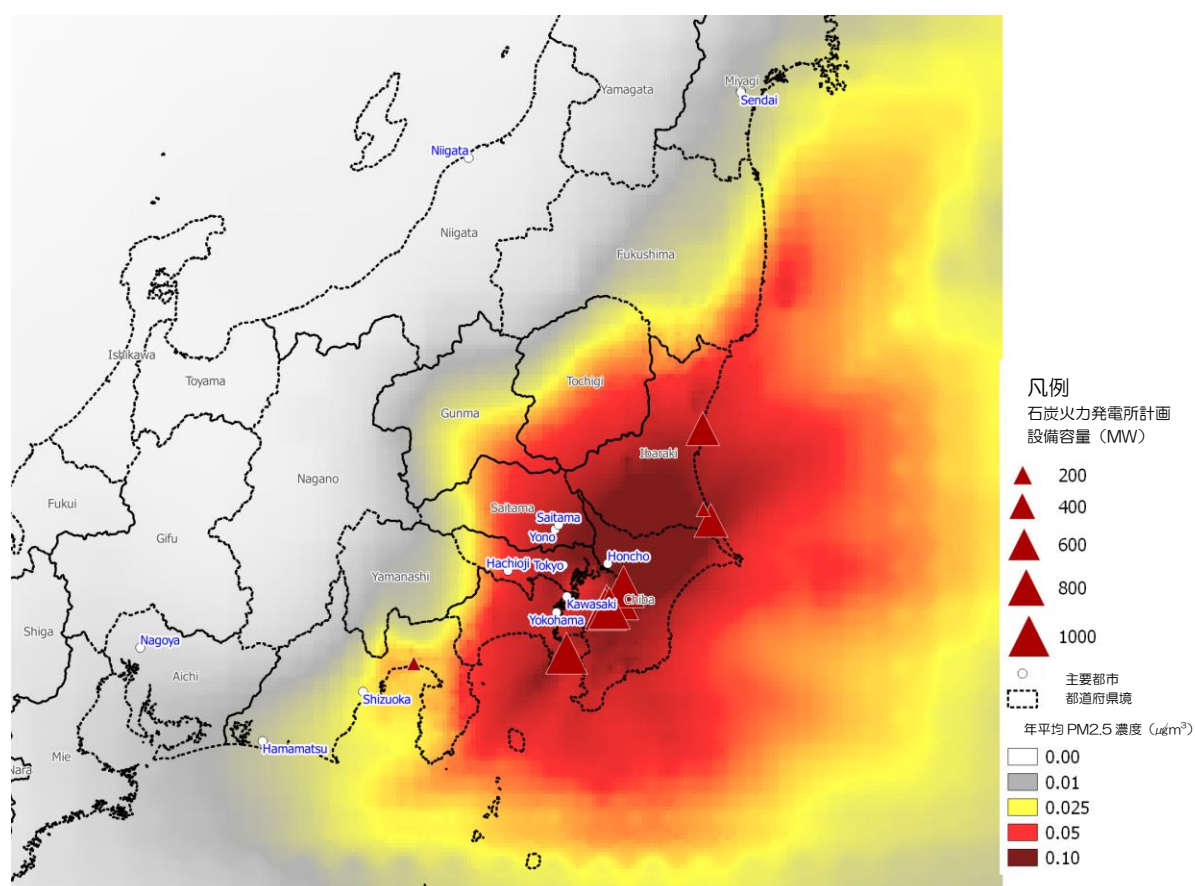


図5. 対象石炭火力発電所からの排出により増加する年平均PM2.5濃度 (µg/m³)

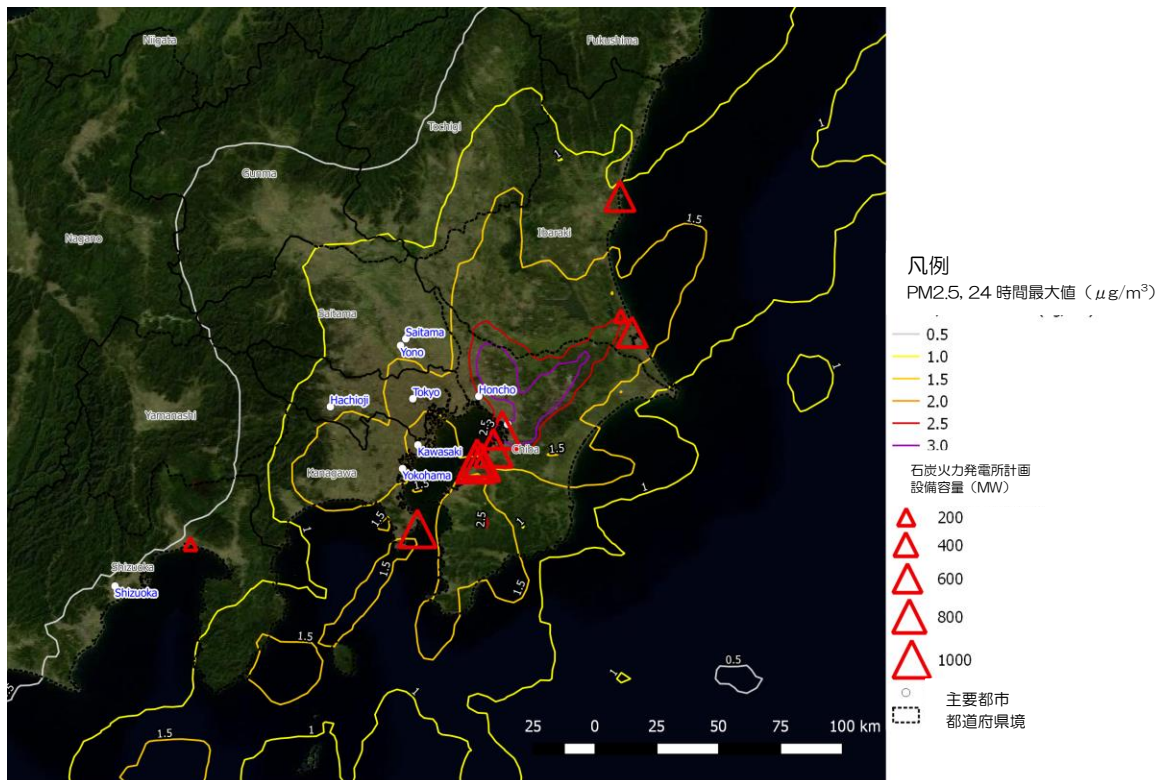


図6. 対象石炭火力発電所からの排出により増加する24 時間平均PM2.5 濃度の最大値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

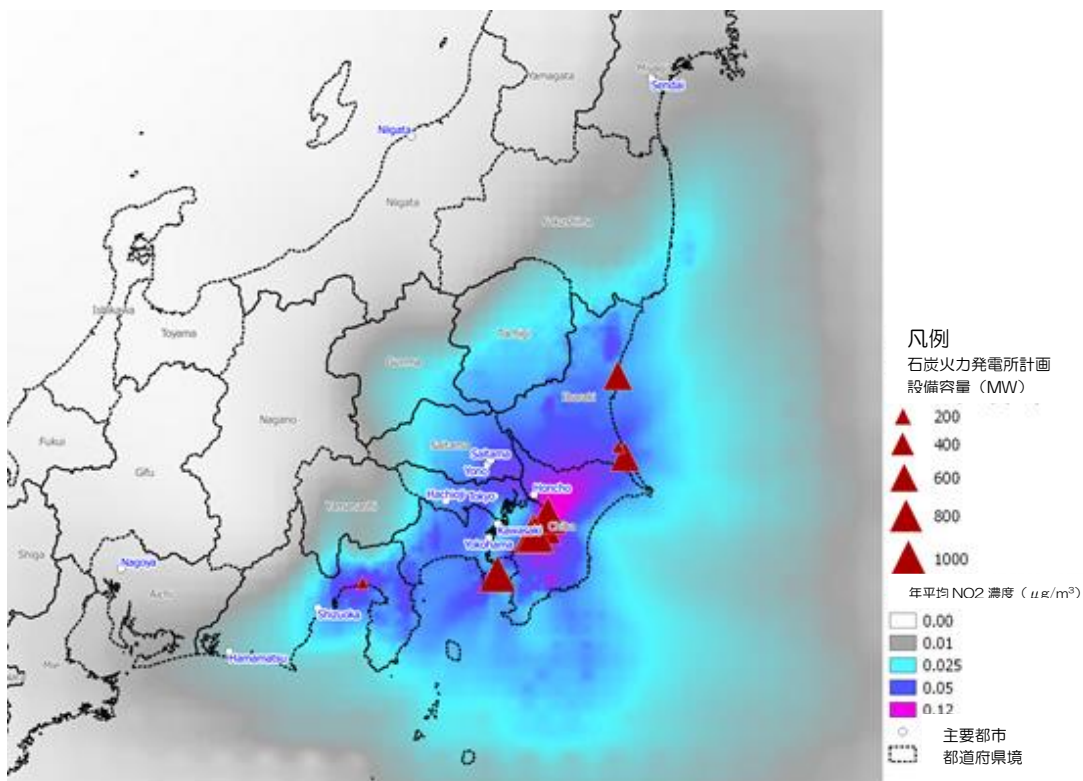


図7. 対象石炭火力発電所からの排出により増加する年平均NO₂ 濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

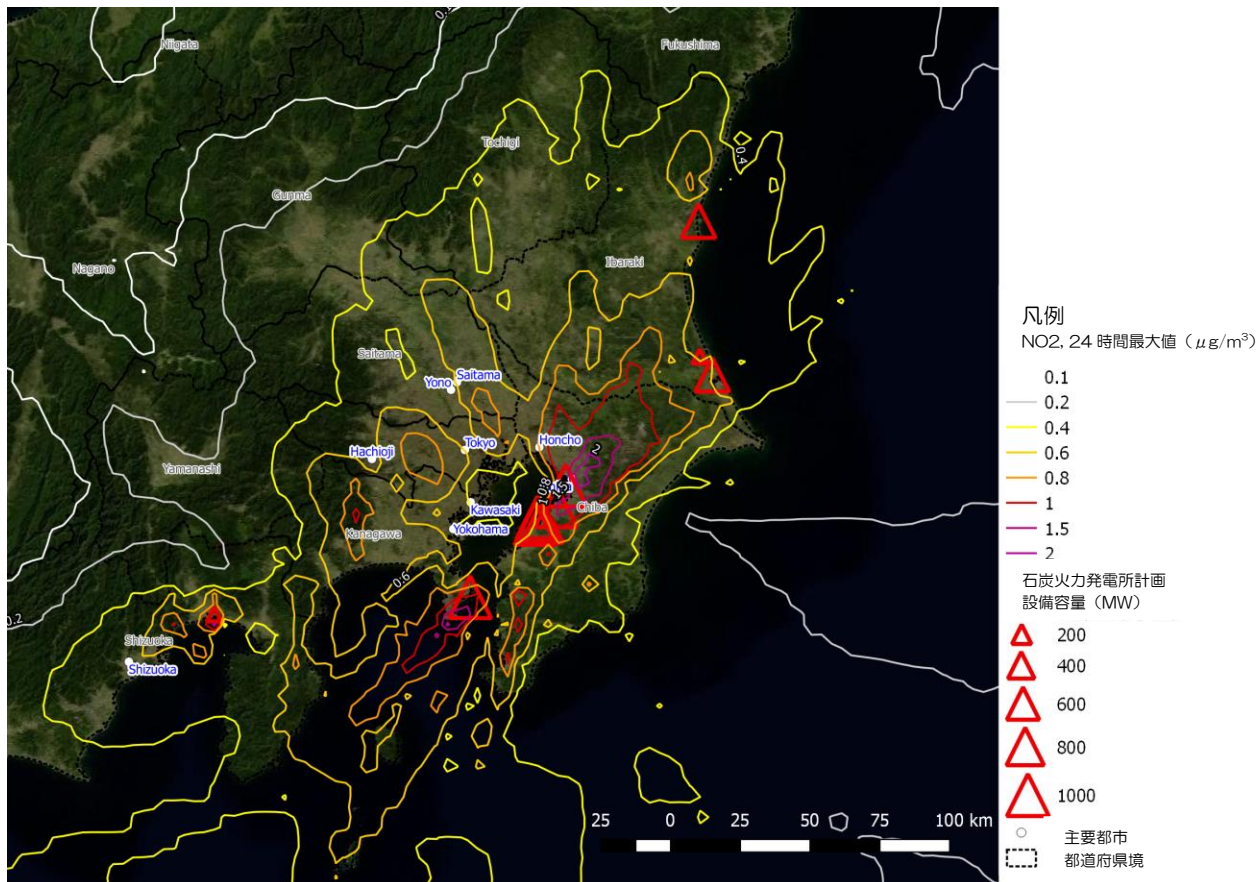


図8. 対象石炭火力発電所からの排出により増加する24時間平均NO₂濃度の最大値 (μg/m³)

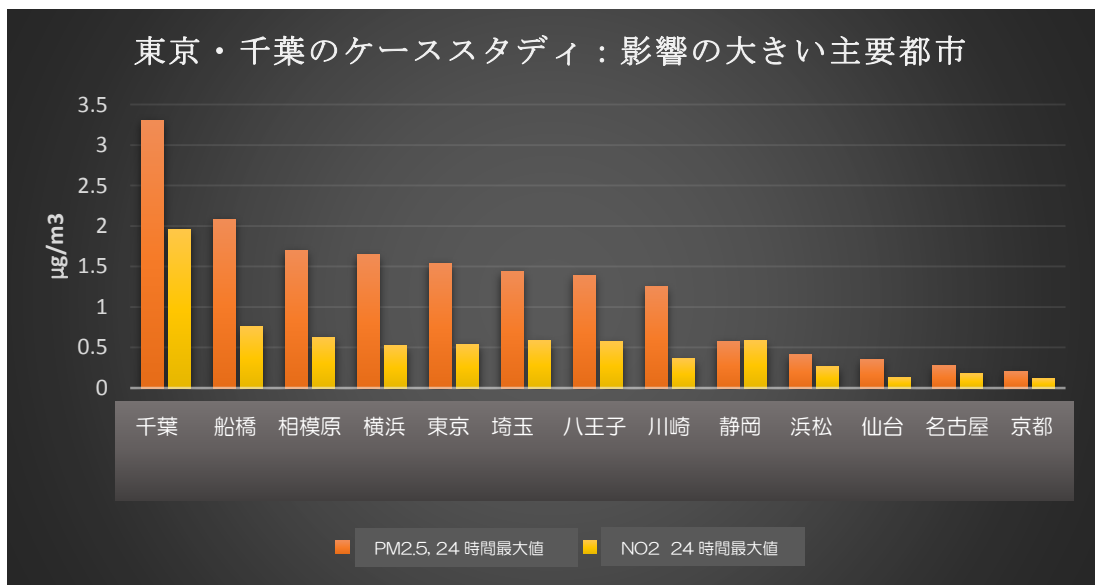


図9. 対象石炭火力発電所からの排出により増加する24時間濃度の最大値

総人口への汚染物質の暴露およびその結果の健康影響の多くは、日本の中部・西部に広がる汚染物質の長距離移動によって起こっている。

大気環境への影響：大阪・兵庫のケーススタディ

本調査で対象とした設備は、大阪・神戸エリアと名古屋の大気環境に重大な影響を与えると考えられる。最悪の条件下では、発電所からの1日のPM2.5排出量は年平均と比較して5%以上増加し、NO2排出量も同様に20%以上増加する。大規模計画によって1日のPM2.5排出量が増加する都市は、東大阪市、大阪市、神戸市、堺市、京都市および名古屋市となった。NO2の影響が最も著しいのは神戸市となっている。

特に夏季の影響は著しい。

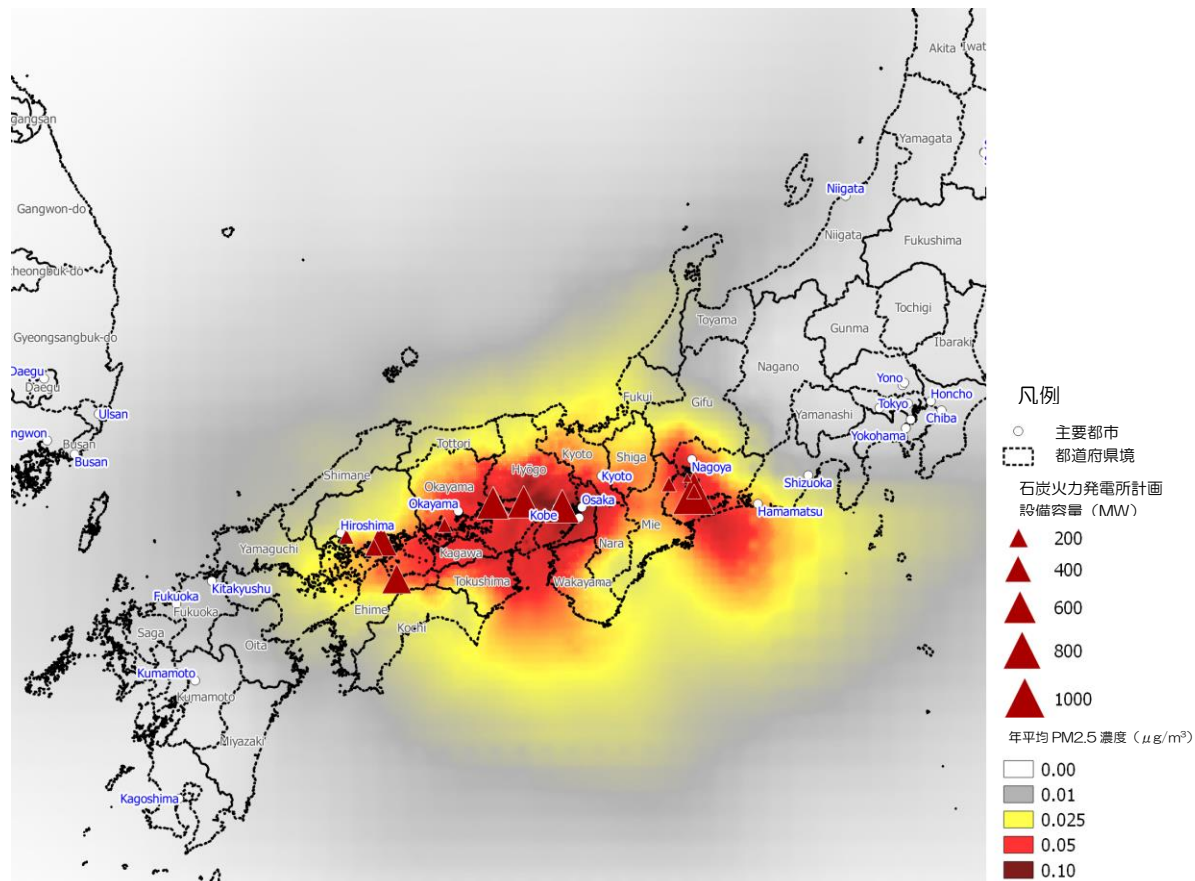


図10. 対象石炭火力発電所からの排出により増加する年平均PM2.5濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

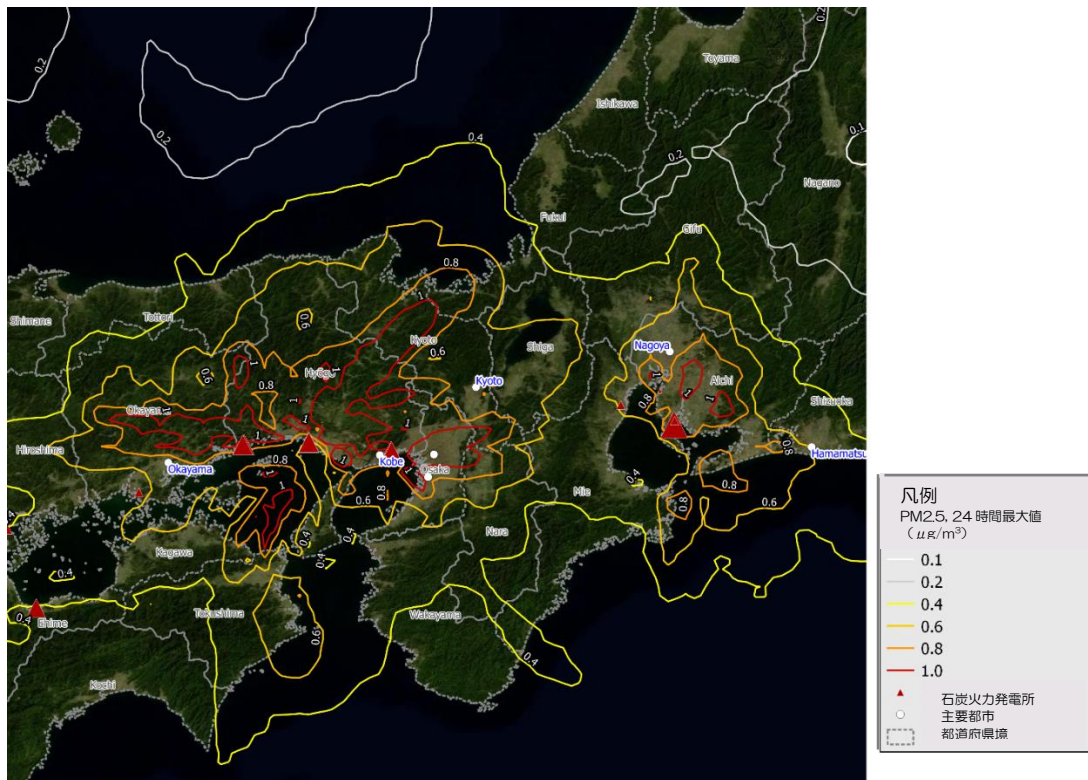


図11. 対象石炭火力発電所からの排出により増加する24 時間平均PM2.5 濃度の最大値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

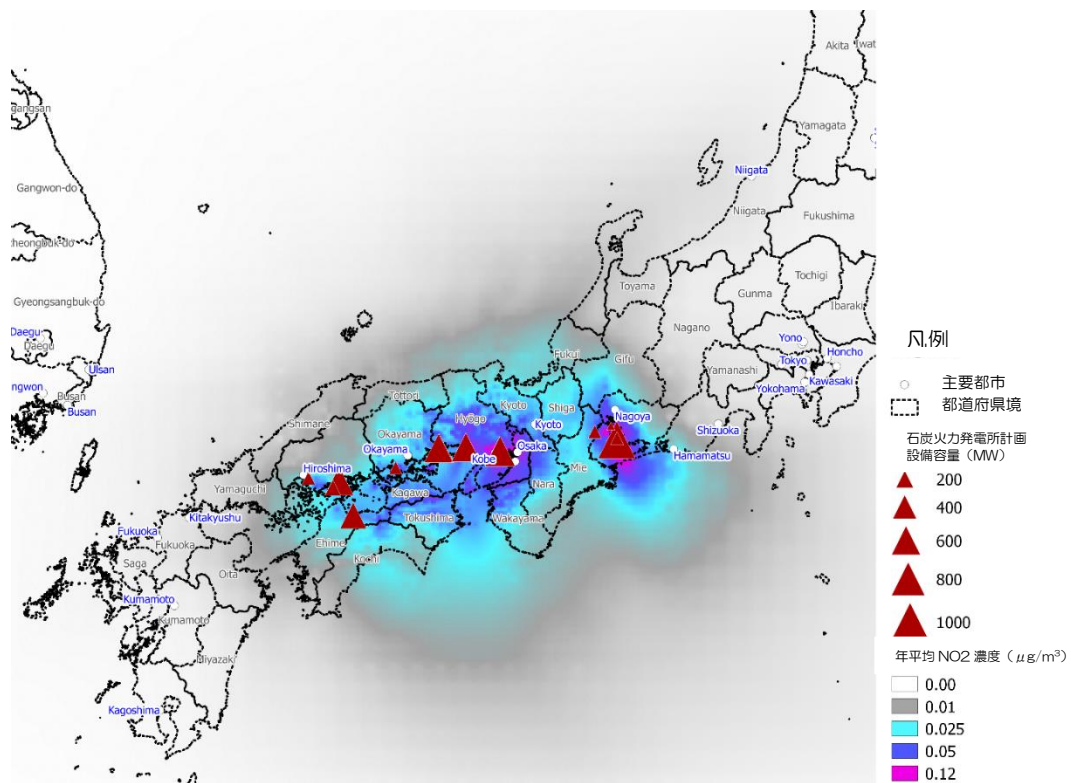


図12. 対象石炭火力発電所からの排出により増加する年平均NO2 濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

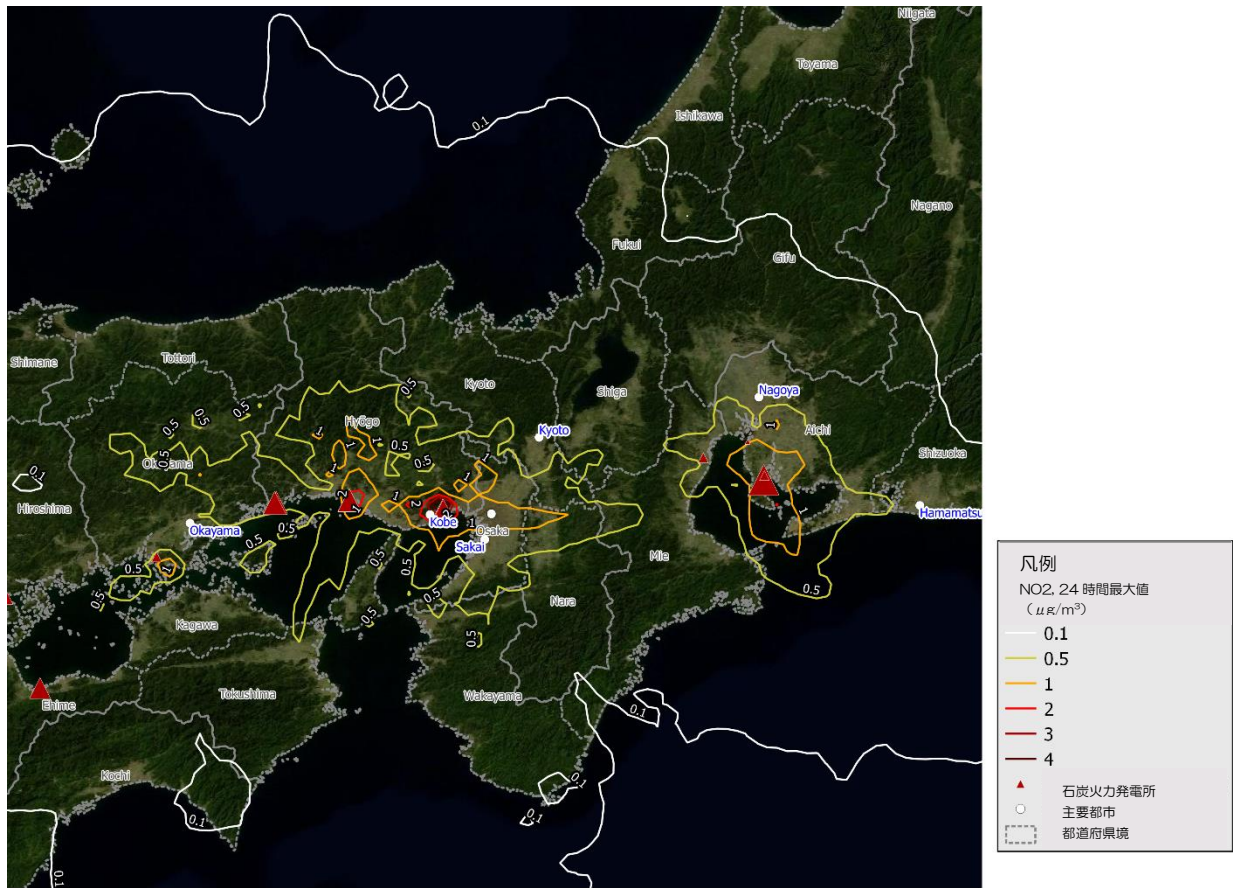


図13. 対象石炭火力発電所からの排出により増加する24時間平均NO₂濃度の最大値 (µg/m³)

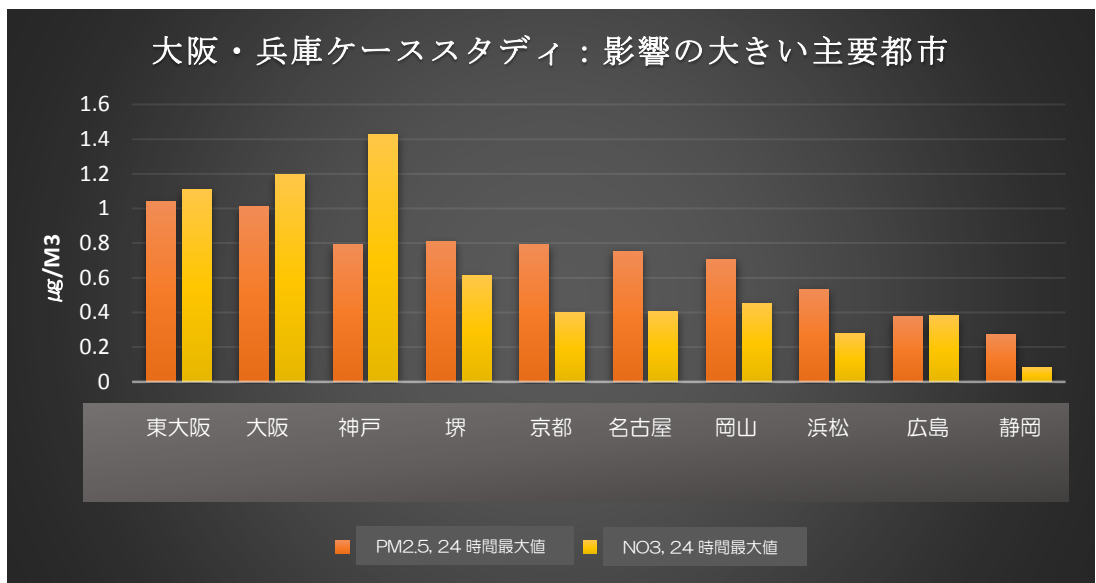


図14. 対象石炭火力発電所からの排出により増加する24時間濃度の最大値

健康影響

PM2.5 濃度の増加によって引き起こされる健康影響は、推定される暴露人口の数によって評価した。この推定を行うにあたっては、NASA による地球観測データを提供する SEDAC (Socioeconomic Data and Applications Center)³の 2010 年の高解像度グリッド人口データを基に、大気汚染物質濃度と Krewski ら (2009 年)⁴によって確立された様々な原因によって高まる死亡リスクとの関係を当てはめた。NO2 については、健康影響評価に関する WHO 勧告の更新版に準じ⁵、現状の死亡率⁶を出すために必要なデータを WHO のデータベースより入手した。低出生体重児については、濃度とリスクの関係は Dadwand ら (2013 年)⁷の研究を、低出生体重児の現在の発生率は世界銀行のデータ⁸を参照した。

東京・千葉エリアおよび大阪・兵庫エリアに計画されている石炭火力発電所からの健康影響は、東京・千葉エリアで運転 1 年あたりの早期死亡者数が 260 人、大阪・兵庫エリアで 200 人である。低出生体重児の人数もそれぞれの地域で年 30 人、20 人に増加するだろう。計画されている発電所が建設されれば、40～50 年は稼働することになる。40 年間以上にわたる健康影響は、それぞれの地域で約 1 万人、約 8 千人という早期死亡者数となって現れるだろう。

表 4. 調査対象とした発電所からの排出に関連する年間早期死亡者数 (1 年あたり)

原因	東京・千葉の ケーススタディ (人)	信頼区間	大阪・兵庫の ケーススタディ (人)	信頼区間
<i>PM2.5 への暴露</i>				
肺がん	29	(12-46)	21	(9-33)
虚血性疾患	54	(35-73)	39	(25-53)
脳卒中	32	(19-44)	23	(14-32)
その他の心臓血管疾患	37	(23-51)	26	(16-36)
慢性閉塞性肺疾患	7	(4-10)	5	(3-7)
その他の呼吸器疾患	24	(15-34)	17	(11-24)
<i>PM2.5 への暴露計</i>	183	(109-258)	131	(78-185)
<i>NO2 への暴露 (健康影響の 67%のみ評価。詳しくは「資料と方法」参照)</i>				
全ての原因	115	(45-166)	102	(39-146)
計	260	(138-368)	199	(104-282)

³ <http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/gpw-v3-population-count-future-estimates>

⁴ Krewski D et al 2009: Extended Follow-Up and Spatial Analysis of the American Cancer Society Study Linking Particulate Air Pollution and Mortality. HEI Research Report 140. Health Effects Institute, Boston, MA.

⁵ <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/activities/health-aspects-of-air-pollution-and-review-of-eu-policies-the-revihaap-and-hrapie-projects>

⁶ http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/estimates/en/index1.html

⁷ “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>

⁸ <http://data.worldbank.org/indicator/SH.STA.BRTW.ZS>

表 5. 調査対象とした発電所からの排出に関連する低出生体重児（1年あたり）

	東京・千葉の ケーススタディ (人)	信頼区間	大阪・兵庫の ケーススタディ (人)	信頼区間
低出生体重児	30	(9-52)	21	(7-37)

結論と政策提言

新規の石炭火力発電所は、熱効率と排出制御が改善されたとしても、無視することのできない大気汚染物質の重大な排出源となる。ケーススタディは、東京・千葉エリアおよび大阪・兵庫エリアで計画中の火力発電所の設備容量が大きく、それらの建設地が人口過密都市に近いことによって、その悪影響が増幅され、重大かつ事前には予測できない健康影響を引き起こす可能性があることを示している。

- 計画中の火力発電所による大気環境と健康への影響は、既存の汚染源によって同時的かつ多重的な影響を受けている大阪、千葉あるいは東京のような都市の大気環境においては累積される。このような計画は個別に扱うのではなく、累積する影響評価を行うことが重要である。
- 新規石炭火力発電所を建設すれば、今後数十年間、日本は発電部門の有害大気汚染物質および CO₂ の排出が最も高い国という立場から抜け出せなくなる。発電所の運転年数期間にわたって、大気汚染物質の排出だけで数万人単位の早期死亡の原因となる可能性がある。長期的な健康影響は十分に評価される必要があり、発電所への投資を判断する際には考慮されるべきである。
- 全ての大規模な汚染排出源からの大気汚染物質の排出は、既にアメリカで行われているようにリアルタイムおよび年次ベースで公開されるべきである。

資料と方法

ケーススタディに使用した大気拡散モデルの実行には、CALPUFF モデルシステムのバージョン 7（2015 年 6 月時点）を使用した。CALPUFF は、高度な非定常気流と大気環境のためのモデルシステムであり、汚染物質の長時間移動とその影響を評価するための推奨モデルとして米国環境保護庁（EPA）の大気環境モデル・ガイドラインとしても採用されている。

オーストラリア連邦科学産業研究機構（CSIRO）によって開発された TAPM モデルシステムは、CALPUFF に要求される毎時の三次元天候フィールドを生成するために用いた。TAPM に CSIRO がモデルシステム用に準備した全球天候データをインプットしており、TAPM のアウトプットは CALPUFF の気象前処理プログラムである CALMET にも利用可能な形式に変換される。CALMET は

CALTAPM ユーティリティを使用しており、CALMET を使って CALPUFF を実行させるための気象データを準備する。CALMET は、CALPUFF に入力するための時間変動微気象パラメータ（毎時の三次元温度フィールド、毎時グリッド安定度階級、表面摩擦速度、混合高度、モニン・オブコフの長さ（Monin-Obukhov length）、対流速度スケール、空気密度、短波太陽放射、表面相対湿度・温度、降水コード、降水率）を生成する。

地形高度と土地利用データも TAPM システムを使っており、全球データセットは CSIRO から入手している。主要な居住区を中心とするグリッド 50×50 の同心状の多層格子と、30km/10km/5km の水平解像度、35 垂直レベルのデータセットを TAPM シミュレーションに利用した。これとは別に、日本の大部分をカバーする 30×30km グリッドのシミュレーションを行い、その結果を、影響を受けやすい人口集中地域をより詳細にカバーするため、CALPUFF シミュレーションの外部ドメインとして適用した。

2013 年に運用している全ての設備について 1 年を通したシミュレーションを CALPUFF で実行した。CALPUFF モデルの ISORROPIA II 化学モジュールは、二次的な無機エアロゾル生成に影響する物質のバックグラウンド濃度データを必要とする。千葉と兵庫の毎時のオゾン測定値は県のウェブページより入手し、モデルに入れ込んだ。アンモニアと過酸化水素（H₂O₂）については、適切な測定データが入手できなかったため、ハーバード大学が実施している Geos-Chem シミュレーションによるバックグラウンド月次平均データを代用した。

バックグラウンドのアンモニア濃度を基準に窒素の種類（NO, NO₂, NO₃, HNO₃）を分けるために POSTUTIL ユーティリティを使って CALPUFF の結果を再計算させた。

PM_{2.5} の濃度が高くなることに起因する健康影響は、NASA の SEDAC によって得られる 2010 年の高解像度グリッドの人口データにおける暴露人口を推定することで評価できる⁹。そして、早期死亡者数の推定は、健康影響評価のために更新された WHO 勧告データ¹⁰の更新版を利用して行った。国ごとの現在の死亡率については、WHO データベースより入手した¹¹。

健康影響の予測は、WHO の新たな勧告に沿い、NO₂ への直接的な暴露による影響も含めている。WHO が認識している PM_{2.5} による健康影響が重複している可能性があることから、中央値と低値には単一汚染物質のリスクモデルに基づいて算出された健康影響の 67%だけを含むものとする。都市部への NO₂ 暴露のみが影響評価に含まれているのは、WHO 勧告に 20 μg/m³ が慢性的な健康リスクの閾値として記載されているからであり、都市部の人は平均的にこの値を超える NO₂ 濃度に暴露していることが多い。石炭火力発電所からの健康影響の評価は、過去に行われた大気汚染による慢性的な健康影響の大々的な研究、アメリカがん協会の病歴調査と 18 年間におよぶ 1200 万人のアメリカ人の住民記録に基づく研究、さらに都市部と都市以外の場所の住民の健康リスクに無視できない違いが見られた¹²ことなどに基づいて進められてきたものである。

⁹ <http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/gpw-v3-population-count-future-estimates>

¹⁰ <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/activities/health-aspects-of-air-pollution-and-review-of-eu-policies-the-revihaap-and-hrapie-projects>

¹¹ http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/estimates/en/index1.html

¹² Krewski et al 2009: Evaluating the Effects of Ambient Air Pollution on Life Expectancy. New England Journal of Medicine, 2009; Vol. 360, pp 413-415.

表6. 早期死亡における濃度と反応の関係（濃度が 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過するとリスクが増加）

PM2.5 への暴露が 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える場合のリスク比	中央値	95% CI, 低	95% CI, 高	出典
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	Dadwand et al (2013) ¹³

NO2 への暴露が 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える場合のリスク比	中央値	95% CI, 低	95% CI, 高	出典
呼吸器疾患	1.037	1.021	1.080	WHO 2013 ¹⁴

（注）NO₂ の中央値と低値は PM_{2.5} の影響との重複を避けるため 1/3 に減少させている¹⁵

アジアの人々は、高齢化、ライフスタイルの変化、都市化、さらにはヘルスケアの向上によって大気汚染による健康影響が出やすくなっている。将来の健康影響を把握するには、本調査の結果に WHO の 2030 年の世界の疾病負担研究¹⁶に基づく対象地域の人口増と様々な原因による死亡率の変化も考慮する必要がある。

¹³ “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>

¹⁴ <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/activities/health-aspects-of-air-pollution-and-review-of-eu-policies-the-revihaap-and-hrapie-projects>

¹⁵ Krewski D et al 2009: Extended Follow-Up and Spatial Analysis of the American Cancer Society Study Linking Particulate Air Pollution and Mortality. HEI Research Report 140. Health Effects Institute, Boston, MA.

¹⁶ http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/projections/en/