

遼寧省本溪市における PM_{2.5} 削減策「青空工事 2015」の費用便益分析A cost-benefit analysis of PM_{2.5} reductions due to the Blue Sky Project 2015 in Liao-Ning Ben-Xi○ 宮 一平*, 加藤 尊秋**
Yiping Gong, Takaaki Kato

Abstract. This study conducts a cost-benefit analysis of pm_{2.5} reductions due to the “Blue Sky Project 2015” in Liao-Ning Ben-Xi, China. Considered reduction costs are inputs of environment infrastructure and investments to eliminate industrial sources of contaminants. Reduction benefits are measured in terms of mitigated citizens’ health damage.

Key Words: Air pollution, PM_{2.5}, reduction measures, cost-benefit analysis

1. はじめに

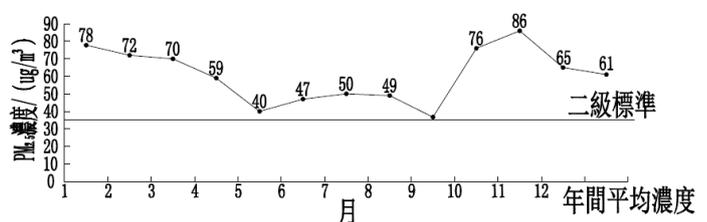
中国の研究者は上海、北京、瀋陽、広州、天津などの地域で大気汚染が人の健康に与える影響の評価を行ってきた。2013 年 1 月の重スモッグ事件の後、重スモッグの状況での健康影響と損失が多くの関心を集めてきた。藩ほか¹⁾は北京、上海、広州、西安の 4 つの都市を評価し、PM_{2.5} が原因で 61.7 億元の損失が生じたとした。黄ほか²⁾は北京、天津、河北を評価し、2009 年の健康損失は当該地域の GDP の 4.7% とした。健康影響軽減の便益をもとに大気汚染防止策を評価する研究としては、邱³⁾がある。邱は、広東省における 2015 年の大気汚染防止策について、大気質のシミュレーションにより研究した。環境の改善費用は 34.95 百万元で便益は 35.56 百万元であった。ただし、既存研究は、大規模な都市地域における特定期間の重大事件の影響と損失に注目しており、通常の期間や、より規模が小さい都市については、大気汚染防止策の評価が十分にはできていなかった。本研究は、この点に着目し、遼寧省本溪市 (2015 年の人口 171 万人) に着目してケーススタディを行う。

本溪市は中国の重要な鉄鋼生産地であり、山々が取り囲む地形もあり、大気汚染が非常に深刻な地域となっている。2014 年の本溪市の PM_{2.5} 年間

平均濃度は 61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で中国の大気環境基準二級の 1.74 倍で、WHO 基準の 6 倍となった (表 1)。同年の本溪市の PM_{2.5} 濃度の変化の様子を図 1 に示す。本溪市政府は、対策として、2015 年から「青空工事」政策を実施した (表 2)。本研究では、青空工事について、PM_{2.5} の削減に関わる部分の便益を推定し、さらに対策費用との比較を行う。

表 1 中国と WHO の PM_{2.5} 環境基準の比較/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$

対象期間	中国環境標準(基準)		WHO 基準
	一級	二級	
1 年間	15	35	10
24 時間	35	75	15

図 1 2014 年本溪市の PM_{2.5} 毎月濃度変化値⁴⁾

* 北九州市立大学大学院 (The University of Kitakyushu)

** 北九州市立大学国際環境工学部 (The University of Kitakyushu)

表2 「青空工事」 の内容⁵⁾

1.石炭の消費量の限定
2.クリーンエネルギーの使用
3.石炭のクリーン化
4.燃焼技術の向上
5.高汚染燃料の使用禁止区域の設定

2. 研究内容

本研究では、青空工事によってなされた 2015 年末時点でのPM_{2.5}濃度の改善について評価する。

2.1 青空工事政策の有無による PM_{2.5} 濃度の差

本溪市の PM_{2.5} 濃度は、2014 年の 61μg/m³ から 2015 年の 54.6μg/m³ へと変化した⁶⁾。ここには、青空工事の効果が反映している可能性があるが、正確な比較のためには、政策の有無比較により便益計測を行う必要がある。このため、式1により、青空工事が行われなかったとした場合の本溪市の PM_{2.5} 濃度について簡易的な推定を行う。この式では、PM_{2.5} 濃度と地域の GDP が比例すると考えている。添え字は、各値の年次を示す。本溪市の GDP は、2014 年の 1171.16 億元が 2015 年の 1164.62 億元へと、やや減少した⁷⁾。推定結果を表3に示す。

$$\frac{PM_{2.5}2014}{PM_{2.5}2015} = \frac{GDP_{2014}}{GDP_{2015}} \quad \dots 1$$

表3 青空工事政策の有無と PM_{2.5} 濃度(2015 年)

	政策なし(推定)	政策あり(実測)
PM _{2.5} 濃度(μg/m ³)	60.8	54.6

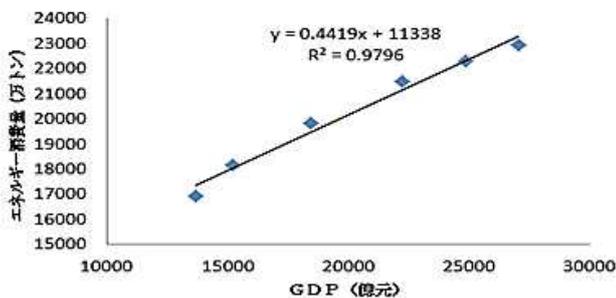


図2 遼寧省の GDP とエネルギー消費量 (2008 年～2013 年、中国統計局 a 2014⁸⁾)

なお、式1を用いた理由として、遼寧省の GDP とエネルギー消費量に比例関係がみられることが挙げられる(図2)。さらに、大気汚染防止策がない場合に、エネルギー消費量と PM_{2.5} 濃度が比例

すると仮定すると、式1となる。なお、本溪市には、2013 年以前の PM_{2.5} 濃度データがないため、PM_{2.5} 濃度と GDP の関係を直接的に検証することは、できなかった。

2.2 健康リスク削減量の推定

式2⁹⁾もとに、表3に述べた政策の有無それぞれの場合について、PM_{2.5} に起因する健康被害の大きさを推定し、その差によって政策実施に伴う健康リスクの削減量を計算する。この式の計算に必要な用量-反応係数と健康ベースラインについては、中国を対象とした既存研究から得た(表4)。また、評価対象時点での本溪市の人口は、1,709,538 人とし、健康影響が生じないベースライン濃度 C₀は、WHO 基準(表1)をもとに 10μg/m³ とした。計算結果を表5に示す。

$$\Delta E = POP \cdot E \cdot (e^{\beta(c-c_0)} - 1) \quad \dots 2$$

- ΔE : 健康反応の変化量
- POP : 暴露人口
- E : 健康ベースライン
- β : 用量-反応係数
- c : 評価を行う濃度
- c₀ : 健康影響が生じないベースライン濃度

表4 健康リスクの評価に用いた値

エンドポイント	用量-反応係数 (β) ¹⁰⁾	健康ベースライン(E)
心臓血管病死亡	0.017	0.000848 ¹¹⁾
呼吸器疾患死亡	0.005	0.0007559 ¹¹⁾
肺がん死亡	0.0186	0.00023 ¹¹⁾
心臓血管病入院	0.00149	0.00619 ¹²⁾
呼吸器疾患入院	0.00198	0.01166 ¹²⁾
慢性気管支炎発病	0.0132	0.0069 ¹²⁾
喘息急診	0.00425	0.0086 ¹²⁾

表5 青空工事による健康リスク削減量

エンドポイント	健康被害(人/年)		削減量(人/年)
	政策なし	政策あり	
心臓血管病死亡	1988	1644	343
呼吸器疾患死亡	373	322	50
肺がん死亡	618	508	110
心臓血管病入院	832	727	104
呼吸器疾患入院	2109	1840	268
慢性気管支炎発病	11268	9456	1812
喘息急診	3542	3068	474

2.3 健康影響削減便益の推計

エンドポイントが死亡であるものについては、統計的生命の価値(VSL)、それ以外については、医療コスト法(COI)を用いて表5の健康影響削減量を貨幣価値に換算する。

(1) 死亡についての評価

2015年の本溪市に適用可能なVSL値がないため、式3¹³⁾を用い、既存研究に見られる2010年の北京市(168万元)の値¹⁴⁾を2015年の本溪市用に換算した。なお、2010年価格の値は、消費者物価指数を用いて2015年価格に換算し、式3に代入した。この結果、2015年の本溪市のVSLは、134万元となった。

$$VSL_h = VSL_{base} \left(\frac{Income_h}{Income_{base}} \right)^{Elasticity} \quad \dots 3$$

VSL_h : 2015年の本溪市のVSL

VSL_{base} : 2010年の北京市のVSL(168万元)を2015年価格に換算した値(193万元)

$Income_h$: 2015年の本溪市の可処分所得(25690元/人)

$Income_{base}$: 2010年の北京市の可処分所得(29072.93元/人)を2015年価格に換算した値(33396.07元/人)

$Elasticity$: VSLの所得弾性値(1.4)¹³⁾

(2) 死亡以外の健康影響の評価

式4により、患者に関する直接費用と間接費用を考慮する。直接費用は、救急、入院、外来診察などにより発生した医療費を含む。間接費用は、患者が病欠で失った収入(一人一日あたりGDPで換算)、交通費、入院時の看護費用などを含む。

$$\text{健康影響貨幣換算値} = \text{罹患人数} \times (\text{一人あたり入院直接費用} + \text{一人あたり入院間接費用}) + \text{入院日数} \times \text{一人一日あたりGDP} \quad \dots 4$$

表6 入院期間と費用(中国全国)

エンドポイント	一人あたり入院期間の費用(元)	平均入院期間(日)
心臓血管病入院	8097.2	11.2
呼吸器疾患入院	4363.3	8.3

(中国統計局b2014¹⁵⁾にある2012年の調査結果を消費者物価指数を用いて2015年価格に換算)

第3回国家衛生サービス調査によると(衛生部

統計中心¹⁶⁾大都市の入院間接費用は直接費用の3.6%を占めるため、式4は式5になる。

$$\text{健康影響の貨幣換算値} = \text{罹患人数} \times (1.036 \times \text{一人あたり入院直接費用} + \text{入院日数} \times \text{一人一日あたりGDP}) \quad \dots 5$$

また、喘息発生一件あたりの費用は、全¹⁷⁾にある値を2015年価格に換算して2576元とした。

なお、慢性気管支炎については、罹患期間のデータがないため、医療コスト法を使えなかった。このため、病気になると生活の質が下がることに着目し、Viscusi et al.¹⁸⁾ および Cropper¹⁹⁾ より、慢性気管支炎による健康被害の貨幣換算値をVSLの0.32倍とした。

(3)健康影響緩和の便益

上述の方法により算出した青空工事による便益の値を表7にまとめる。青空工事により防げた価値の損失は、総額で1649.2百万元となり、2015年の本溪市のGDP(1164.6億元)の1.4%を占める。便益の総額のうち、早期死亡の防止は40.9%、慢性気管支炎の防止は58.9%を占め、両方の和は99.8%におよぶ。

表7 青空工事によるPM_{2.5}健康影響削減便益

早期死亡	心臓血管病入院	呼吸器疾患入院	慢性気管支炎発病	喘息急診
674	1.1	1.6	971.2	1.2

単位: 百万元

2.4. PM_{2.5}削減策の費用

表8 「青空工事」の費用⁵⁾

項目	費用(百万元)	総費用(百万元)
石炭の消費量の限定	603.0	2024.96
クリーンエネルギーの使用	147.0	
石炭のクリーン化	737.56	
燃焼効率の向上	537.4	

表8に青空工事に要した費用をまとめる¹⁴⁾。なお、ここに示す対策は、PM_{2.5}以外の大気汚染物質削減にも効果を有する可能性が高い。また、燃焼

効率の向上は、2015年のみならず、これ以降の年度にも効果を発揮する可能性がある。したがって、PM_{2.5}削減策の1年分の費用としては、表8は過大評価の可能性が高いことを注記しておく。

2.5 費用便益分析

上述の便益総額から費用総額を引くと、純便益は、375.76百万元の負の値となる。このため、本稿で行った試算の段階では、PM_{2.5}削減による健康被害削減効果のみでは、効率性の観点からこの事業を正当化できない可能性がある。しかしながら、上述のように、青空工事には、PM_{2.5}以外の環境改善にも役立つ要素が含まれている。また、PM_{2.5}の削減についても、学校での体育教育機会の増加や視程の改善など、健康被害削減以外にも便益が生じている可能性が高い。したがって、結論を出すためには、さらに、研究の深化が必要である。

3. まとめ

本研究により、本溪市2015年「青空工事」により、PM_{2.5}の削減を通じて防止された市民の健康悪化の程度が明らかになった。この健康状態悪化防止による便益は、総額で1649.2百万元と推定された。このうち、慢性気管支炎の発病回避による便益がもっとも大きく、971.2百万元となった。次いで大きいのは、早期死亡の防止であり、674百万元となった。政策実施費用との比較では、純便益が負となったが、硫酸化物の削減など、同政策による他の汚染物質削減効果や、PM_{2.5}の削減に伴って生じる健康被害削減以外の便益も考慮し、さらに正確な分析を行う必要がある。

また、本研究では、一部の統計データの不足のため、PM_{2.5}による影響がない状況での本溪市民の健康状態を全国のそれと同じであるとするなどの仮定をした。また、他都市で行われた既存研究から値を引用した箇所もある。今後、これらの点についても精度を向上させる予定である。

<参考文献>

- 1) 潘小川, 李国星, 高婷, 危险的呼吸 PM_{2.5} 的健康危害和经济损失评估研究, 中国环境科学出版社, 2012.
- 2) 黄德生, 张世秋, 京津冀地区控制 PM_{2.5} 污染的健康效益评估, 中国环境科学, 11 (1), 166-174, 2013.
- 3) 邱雪珍, Chen-Jen Lin, 顺德区, 2015 年大气

污染防治实施方案编制及费效评估, 华南理工大学, 2015.

- 4) 薛清华, 浅谈本溪市空气中 PM_{2.5} 的防控思路及对策, 环境保护与循环经济, 68-69, 2015.
- 5) 本溪市人民政府, 辽宁本溪市, 2015 年度蓝天工程暨大气污染防治行动计划实施方案, 2015. <http://news.bjx.com.cn/html/20150331/603998-5.shtml>
- 6) PM_{2.5} 科学实验专家小组, 中国空气质量在线监测分析平台. <http://www.aqistudy.cn/>
- 7) 中国统计信息网, 辽宁统计年鉴, 2015. <http://www.tjcn.org>
- 8) 中国统计年鉴, 中国统计年鉴, 中国统计出版社, 2014.
- 9) 洪传洁, 阚海东, 陈秉横, 城市大气污染健康危险度评价方法, 环境与健康杂志, 22 (1), 62-64, 2005.
- 10) 刘帅, 宋国君, 城市 PM_{2.5} 健康损害评估研究, 环境科学学报, 36 (4), 1468-1475, 2016.
- 11) 卫生部信息中心, 第三次国家卫生服务调查分析报告, 中国协和医科大学出版社, 2004.
- 12) 吕铃钥, 李洪远, 京津冀地区 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 污染的健康经济学评价, 南开大学学报, 70-77, 2016.
- 13) 穆泉, 张世秋, 中国 2001-2013 年 PM_{2.5} 重污染的历史变化与健康影响的经济损失评估, 北京大学学报, 694-706, 2015.
- 14) 谢旭轩, 健康的价值 环境效益评估方法与城市空气污染控制策略 (D), 北京大学, 2010.
- 15) 中国统计年鉴, 中国卫生统计年鉴, 中国统计出版社, 2014.
- 16) 卫生部统计中心, 中华人民共和国卫生和计划生育委员会, 2004. <http://www.nhfpc.gov.cn/zwfgkzt/pwstj/list.shtml>
- 17) 全福杰, 辽宁省城市大气污染造成的居民健康损失及货币化估计, 环境与健康杂志, 67-72, 2003.
- 18) Viscusi, W. K., Magat, W. A., Huber, J., Pricing environmental health risks: Survey assessments of risk-risk and risk-dollar trade-offs for chronic bronchitis, Journal of Environmental Economics and Management, 21, 32-51, 1991.
- 19) Cropper, M., What are the health effects of air pollution in China? In G. Heal (ed.) Is Economic Growth Sustainable? pp.10-46, Palgrave Macmillan, New York, NY, 2010.