

# アスベスト規制インパクト分析

58077 青木理音

58083 川添南都子

58101 森祐一郎

平成 18 年 2 月 17 日

# 目次

第1章	要約と結論	2
1.1	プロジェクトの目的	2
1.2	主要な分析結果	2
1.3	分析概要	3
1.4	手法概略	3
1.5	結論	3
1.6	政策提言	3
第2章	序	4
2.1	現状と扱う問題	4
2.2	解き方	4
第3章	本文	6
3.1	用いたデータ	6
3.1.1	肺がん死亡リスク式	6
3.1.2	中皮腫死亡リスク式	6
3.1.3	総死亡リスク式	6
3.1.4	アスベスト除去費用	7
3.2	分析手法	7
3.2.1	肺がん死亡リスク	7
3.2.2	中皮腫死亡リスク	7
3.2.3	総死亡リスクと割引現在価値	8
3.2.4	アスベスト除去費用	8
第4章	感度分析	9
4.1	分析結果	9
4.1.1	統計的生命価値 5,000 万円の場合	9
4.1.2	統計的生命価値 3 億円の場合	10
4.1.3	統計的生命価値が年齢に応じて減少する場合	10
第5章	結論と今後の課題	11
5.1	結論	11
5.2	理由	11
5.3	考えられる考察	11
5.4	今後の課題	12

# 第1章 要約と結論

アスベストは、安価で防音材・断熱材として有用な物質であるため重宝されてきたが、一方で人が吸い込んで肺の中に入ると組織に刺さり、15～40年の潜伏期間を経て、肺がん・悪性中皮腫等の病気を引き起こす恐れがあることが知られている。

そのため、アスベストの使用に関する可否が問われてきた。

## 1.1 プロジェクトの目的

アスベストについては、規制を強める動きがあるというのが現状ではあるが、その除去作業の費用は千億単位にのぼる一方で、アスベストがもたらす生命リスクは依然として不明確である。そこで我々は、アスベスト除去の費用対効果はどれほどのものなのかを計算し、国として除去をするべきなのか、そしてするとしたらその時期はいつが適しているのかを分析することとした。

## 1.2 主要な分析結果

我々の分析結果では、アスベストを除去しないよりした方が便益が大きいこと、発覚後即時除去のケースと長期休暇中に除去のケースの便益は前者の方が大きいことがわかった。<sup>1</sup>

この便益の差は、割引率や最大のものでも10数億円程度である。僅差であっても便益の高いものという結論もありうるが、休暇を使わないで除去を行う(1のケース)時には、定式化したものに加え、代替校舎等が必要となると考えるのが一般的である。この代替校舎等にかかる追加費用を合わせて考えるとどうであろうか。

全国のアスベスト除去の必要のある小学校全てに対して、同じ規模の代替校舎を一定期間与えるための費用は、優に10数億を超えると考えられる。そのため、この追加費用を考慮した形では、アスベストを除去すべき時期は2の長期休暇中という方が妥当という結論になる。

よって、

- アスベストの除去をすべき
- 時期としては、夏休み等の長期休暇で行う

ことがいえた。

以下、分析手法と結論、政策提言を行う。

---

<sup>1</sup>本文の分析結果の表を参照されたい

### 1.3 分析概要

今回のプロジェクトでは、特に学校施設のアスベスト除去について費用対効果を考える。分析の中では特に除去の時期について考察を絞り、3時点での除去活動の費用対効果を比較分析する。

- (1) アスベスト使用・飛散の可能性が発覚した直後の除去活動
- (2) 長期休み期間中の除去活動
- (3) 校舎の建て替え・取り壊し時(減価償却終了した時点)での除去活動

(3)を without として(1)(2)を比較検討することとする。

### 1.4 手法概略

アスベスト除去費用については、除去に関わる直接費用のみを扱う。一方便益としてはアスベスト吸引に伴う健康リスクの軽減分を、統計的生命価値と死亡率の変化分に基づいて数値化する。死亡率は肺がんと中皮腫の2つの症状について(リスク計算式内の適切な定数を設定しながら)それぞれ算出する。費用、便益のそれぞれについてこれら外生変数に基づいた確率分布を設定し、モンテカルロシミュレーションにより割引現在価値における費用対効果を計算する。この計算を1.3で述べられた3つのケースのそれぞれについて行い、比較検討する。

### 1.5 結論

割引現在価値( $r$ )の値、統計的生命価値の如何によらず、いずれのケースでも即時除去のケースの便益は半年ずらす(夏休み等に除去)のケースの便益よりわずかに大きいに留まった。この結果からすると、一見即時除去が有効な案に聞こえるが、この結果には休暇を使わないで即時除去する場合に発生する代替校舎などの追加費用が含まれていない。便益の差が最大のもので数十億であるという結果から、この程度の便益では日本全国の小学校の代替校を用意する追加費用は到底まかなえないと考えられるため、追加費用も勘案すると長期休みを利用することが最も便益が大きいと結論づけられる。

### 1.6 政策提言

長期休暇を利用してアスベストを除去すべき。政府と自治体、学校が効用関数を共有すると仮定した場合、1.5で述べられたようにアスベスト除去は長期休暇を利用して行われるのが望ましい。但し政策実施にあたっては、本論において算出された費用対効果を他のリスク軽減策、例えば交通事故リスク、犯罪リスクなどとさらに比較検討した上で、費用対効果の高い政策より実施するのがよいと思われる。また政府による具体的なアプローチとしては規制、補助金などが考えられるが、これは本論においては政府、自治体、学校が効用関数を共有すると仮定したために、適切な金額等を算出することができない。新たな分析組みを要するために今後の課題とする。

## 第2章 序

### 2.1 現状と扱う問題

石綿を表すアスベストという言葉は、「消すことができない」「永遠不滅の」という意味のギリシア語に由来している。その名の通り、アスベストは熱や薬品に強く、磨耗に耐え、切れにくく、紡いで織ることもできるという非常に優れた特質を持つ。さらに、安価であったため、昭和 30～55 年にかけては「天然の贈り物」と呼ばれるほど重宝され、断熱材等として使用されてきた。

しかし一方で丈夫で変化しにくいという性質が災いし、人が吸い込んで肺の中に入ると組織に刺さり、15～40 年の潜伏期間を経て、肺がん・悪性中皮腫等の病気を引き起こす恐れがあることが知られている。日本でこの問題が大きく取り上げられるようになったのは、1987 年頃から学校や公営住宅等で、鉄骨に吹き付けたアスベストが問題となってからだ。それから、地方自治団体、当時の文部省、環境庁等が吹き付けアスベストを使用している建物の調査を行い始め、各地でアスベスト対策を求める市民団体が誕生した。こうした経緯から、様々なアスベスト規制の法律が整備されていった。

- 1989 年 大気汚染防止法改正
- 1991 年 廃棄物処理法改正
- 1997 年 大気汚染防止法再度改正
- 2005 年 石綿障害予防規則 省令として制定

現状としては未だに全面禁止にはなっていないが、規制を強める方向に動いている。アスベストについては、規制を強める動きがあるというのが現状ではあるが、その除去作業の費用は千億単位ののぼる一方で、アスベストがもたらす生命リスクは依然として不明確である。そこで我々は、アスベスト除去の費用対効果はどれほどのものなのかを計算し、国として除去をするべきなのか、そしてするとしたらその時期はいつが適しているのかを分析することとした。

### 2.2 解き方

「現状と扱う問題」をふまえ、その解き方としては、以下のようにする。特に学校施設のアスベスト除去について費用対効果を考える。アスベストの除去による主な便益は将来の肺がん及び中皮腫発生リスク削減の割引現在価値で表される。費用は、主に除去に係る費用の割引現在価値である。

分析の中では特に除去の時期について考察を絞り、3 時点での除去活動の費用対効果を比較分析する。

- ( 1 ) アスベスト使用・飛散の可能性が発覚した直後の除去活動
- ( 2 ) 長期休み期間中の除去活動
- ( 3 ) 校舎の建て替え・取り壊し時(減価償却終了した時点)での除去活動

( 3 ) を without ( 基準 ) として ( 1 ) ( 2 ) を比較検討することとする。肺ガン死亡リスク・中皮腫死亡リスク・総死亡リスクと割引現在価値・アスベスト除去費用をそれぞれ定式化し、ケースごとに割引現在価値を計算する。更に、不確実性を反映するために感度分析を行う。

## 第3章 本文

### 3.1 用いたデータ

#### 3.1.1 肺がん死亡リスク式

- 肺がん死亡率 IE：厚生労働省「人口動態統計」+ 国立がんセンター「がんの統計'05」
- 定数 KL：先行文献(村山文献等より引用)
- 平均曝露濃度  $f$ ：先行文献(注：同上)
- 曝露期間  $d$ ：分析に応じて適宜設定

#### 3.1.2 中皮腫死亡リスク式

- 定数 KM：先行文献(注：同上)
- 平均曝露濃度  $f$ ：先行文献(注：同上)
- 定数  $k$ ：先行文献(注：同上)
- 潜伏期間  $t$  20～40年後に発症することが多いということに基づく仮定

#### 3.1.3 総死亡リスク式

- アスベストの吹き付けられた教室割合：「文部科学省中間調査」
- 年度別小学生総数  $N(t)$ ：国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口」
- 統計的生命価値  $VoL$ ：分析に応じて適宜設定
- 小学生平均年齢  $\bar{y}$ ：6歳～12歳までの単純な幾何平均
- 割引率  $r$ ：分析に応じて適宜設定
- 現在時期  $t$ ：2005年
- 曝露終了期：分析に応じて適宜設定

### 3.1.4 アスベスト除去費用

- 単位面積当たり除去費用  $C_0$  : 先行文献 (「国土交通省公表データ」)
- 現在の教室あたり平均生徒数  $q_0$  : 「鉄筋コンクリート造校舎の標準設計」
- 平均生徒数  $n_0$  : OECD 「図表で見る教育 2004」

## 3.2 分析手法

アスベストの除去による主な便益は将来の肺がん及び中皮腫発生リスク削減の割引現在価値で表される。費用は、主に除去に係る費用の割引現在価値である。しかし実際には粗悪な処理や地震に伴う飛散リスクなど定量化が極めて困難な費用・便益が存在する。

ここでは主な費用・便益の差額としての正味現在価値を三つの時点について計算することで定量化の困難な指標を含めいつ除去を行うかを判断する材料を提供する。

### 3.2.1 肺がん死亡リスク

労働環境におけるアスベスト曝露についての複数の先行研究によると曝露量に対して肺がんによる標準化死亡比は閾値を持たず線形に増加する。よって  $y_0$  年に生まれた曝露群における年齢  $y$  での肺がんによる死亡率  $I_L(y, y_0)$  は、

$$I_L(y, y_0) = I_E(y, y_0) (1 + K_L \cdot f \cdot d),$$

と書ける。ここで  $I_E(y, y_0)$  は一般の肺がんによる期待死亡率で、 $f$  は平均曝露濃度 [ $f/ml$ ]、 $d$  は曝露期間 [年] を表す。定数  $K_L$  については先行文献における値を大まかに含むものとして幾何平均が  $1.0 \times 10^{-2}$  で偏差 30 地点が  $4.0 \times 10^{-3}$  となるような対数正規分布を設定する。また将来における各年齢層の肺がん死亡率は不明なので現在の値をとるものと仮定する (現在の値については厚生労働省の「人口動態統計」及び国立がんセンター「がんの統計'05」から計算した)。

### 3.2.2 中皮腫死亡リスク

中皮腫はアスベスト曝露が主な原因でありその死亡リスクは直接に表される。先行文献によると曝露開始からの年数  $t$ 、潜伏期間  $t_0$  に対し中皮腫による死亡リスク  $I_M(t, t_0)$  は、

$$I_M(t, t_0) = K_M \cdot f \cdot (t - t_0)^\kappa \cdot 1[t > t_0],$$

で表される。ここでは先行文献の多くにに従い  $\kappa = 3.0$  とし、定数  $K_M$  については幾何平均が  $1.0 \times 10^{-8}$  で偏差 30 地点が  $2.6 \times 10^{-9}$  となるように対数正規分布を設定する。 $t_0$  については 20 ~ 40 年後に発症することが多いことから  $t_0 = 10$  とする。 $f$  については肺がん、中皮腫ともに先行文献より幾何平均が  $2.0 \times 10^{-3}$  [ $f/l$ ]、偏差 30 地点が  $6.4 \times 10^{-3}$  [ $f/l$ ] である対数正規分布を想定する。

### 3.2.3 総死亡リスクと割引現在価値

簡単化のため小学校全体の人数だけ  $\bar{y}$  歳の人間が曝露すると考えると、 $t$  期の小学生の総数を  $N(t)$ 、アスベストが吹き付けられた教室の割合を  $\rho$  とすれば一年間の曝露による  $t+T$  期の過剰死亡リスクは、

$$ER(t, T) \equiv \{I_L(\bar{y} + T, t - \bar{y}) - I_E(\bar{y} + T, t - \bar{y}) + I_M(T, t_o)\},$$

として  $\rho N(t) ER(t, T)$  となる。よって  $y$  歳の人の統計的生命価値を  $VoL(y)$  とすれば現在  $t^o$  期から  $\tau$  期まで曝露が続くことによる費用の割引現在価値  $EL(\tau)$  は、

$$EL(\tau) = \rho \sum_{t=t^o}^{\tau} \left[ \frac{N(t)}{(1+r)^{t-t^o}} \left\{ \sum_{T=0}^{\infty} \frac{VoL(\bar{y} + T) ER(t, T)}{(1+r)^T} \right\} \right],$$

と計算される。ここで  $r$  は割引率を表し、 $\bar{y} = 9$  とした。文部科学省調査の中間発表より  $\rho = 7.0 \times 10^{-3}$ 、 $N(t)$  については国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口」のデータを最小二乗法で外挿して用いる。

### 3.2.4 アスベスト除去費用

単位面積当たりの除去費用を  $c_o$ 、教室当たりの吹き付け面積を  $q_o$ 、現在の教室当たりの平均生徒数を  $n_o$  として、総除去費用は  $\frac{N(t^o) c_o q_o}{n_o}$  ゆえ  $t$  期後に除去するならばその割引現在価値は、

$$C(t) = \frac{N(t^o) c_o q_o}{n_o (1+r)^t},$$

となる。ここで除去費用は先行文献などから勘案して平均が 27,500 円で偏差 30 地点が 15,000 円となるように正規分布を設定する。 $q_o$  は昭和 25 年「鉄筋コンクリート造校舎の標準設計」やその他先行文献から  $55m^2$  を採用する。平均生徒数は OECD「図表で見る教育 2004」より 28.4 人である。

## 第4章 感度分析

以上の式によりケースごとに割引現在価値を計算するが不確実性を反映するために感度分析を行う。まず割引率  $r$  及び、統計的生命価値  $VoL(y)$  は外生的に与え、いくつかの組み合わせごとに計算を行う。定数  $K_L, K_M$  と平均曝露濃度  $f$ 、単位面積当たりのアスベスト除去費用  $c_o$  については上述したような分布を持つように擬似乱数ジェネレータを用いたモンテカルロシミュレーションを行い割引現在価値を確率分布として計算する<sup>1</sup>

### 4.1 分析結果

以下、(1) 直ぐに除去する、(2) 次の大きな休みに（半年後）除去する、について四分位点の値及び 90percent 信頼区間を示す。選択肢には (3) 建物解体時まで除去しない、があるがこの場合を基準として考察を行う。ここで (2) について最初の半年間の曝露による損失は一年間の半分だとして計算した。また除去を行った場合でも解体時にかかるコストは変化しないとする（あらゆる場所のアスベストを除去するのではないのでそれなりに合理的だと考えられる）。単位はいずれも億円である。統計的生命価値が年齢に応じて減少する場合についても計算しているがこれは肺がん、中皮腫の発生が非常に高齢に偏っているための措置である。

#### 4.1.1 統計的生命価値 5,000 万円の場合

$r = 4\%$	Q1	Q2	Q3	90percent CI
1	-20.2	-14.0	-6.2	[-27.9,11.7]
2	-19.9	-13.9	-6.4	[-27.5,10.9]

$r = 2\%$	Q1	Q2	Q3	90percent CI
1	2.6	20.7	49.0	[-13.4,121.8]
2	2.1	19.6	47.1	[-13.6,117.9]

$r = 6\%$	Q1	Q2	Q3	90percent CI
1	-26.7	-22.6	-18.0	[-33.2,-10.8]
2	-26.2	-22.0	-17.5	[-32.3,-10.6]

<sup>1</sup>ここでは SAS Institute の SAS(R) 9.1 を用いて外生変数の組み合わせごとに 10 万回シミュレーションを行った。ただし、100 回でもほぼ同じ結果が得られることが確認できたため、100 回程度が妥当な標準であったと認識している。

#### 4.1.2 統計的生命価値 3 億円の場合

$r = 4\%$	Q1	Q2	Q3	90percent CI
1	17.3	43.9	85.8	[-5.4,195.3]
2	16.3	42.0	82.5	[-5.6,188.2]

$r = 2\%$	Q1	Q2	Q3	90percent CI
1	148.9	253.9	422.5	[62.8,863.2]
2	144.2	246.3	410.0	[60.6,838.4]

$r = 6\%$	Q1	Q2	Q3	90percent CI
1	-14.2	-5.5	6.9	[-23.7,38.1]
2	-13.9	-5.6	6.4	[-23.2,36.4]

#### 4.1.3 統計的生命価値が年齢に応じて減少する場合

$r = 4\%$	Q1	Q2	Q3	90percent CI
1	-7.3	4.7	23.1	[-19.2,69.7]
2	-19.1	-7.5	21.9	[-19.1,66.9]

$r = 2\%$	Q1	Q2	Q3	90percent CI
1	33.0	68.6	125.8	[3.0,272.0]
2	31.5	66.1	121.7	[2.4,263.9]

$r = 6\%$	Q1	Q2	Q3	90percent CI
1	-20.6	-14.5	-7.0	[-28.2,10.1]
2	-20.1	-14.2	-7.0	[-27.5,9.4]

40 歳で 3 億円で以降年 2percent 減少するとした。

## 第5章 結論と今後の課題

### 5.1 結論

我々の分析結果では、

- アスベストの除去をすべき
- 時期としては、夏休み等の長期休暇で行う

ということが結論づけられた。

### 5.2 理由

前の章で行った分析結果をみると、いずれのケースについても1（発覚後即時除去）と2（長期休暇中に除去）の便益の差は小さい。<sup>1</sup>この便益の差は、最大のものでも10数億円程度である。僅差であっても便益の高いものという結論もありうるが、休暇を使わないで除去を行う（1のケース）時には、定式化したものに加え、代替校舎等が必要となると考えるのが一般的である。この代替校舎等にかかる追加費用を合わせて考えるとどうであろうか。

全国のアスベスト除去の必要のある小学校全てに対して、同じ規模の代替校舎を一定期間与えるための費用は、優に10数億を超えると考えられる。そのため、この追加費用を考慮した形では、アスベストを除去すべき時期は2の長期休暇中という方が妥当という結論になる。

他に考えられることとしては、以下5.3で挙げることとする。

### 5.3 考えられる考察

更に言える事としては、以下のようなものが挙げられる。

- 疫学上の不確実性を反映して便益の確率分布は右側の裾が非常に広がっている。これは対処しない場合の損失が極めて大きくなる可能性があることを示しておりたとえ中央値では便益がでなくても除去を行う理由になりうる。
- 便益の発生が主に数十年後に発生するためその額は割引率によって大きく変化する。特に6percentを採用した場合には生命価値の額によらずほとんどに点で純便益はマイナスになる。しかし、マイナスの額はそれほど大きくない一方90percent信頼区間の上側ではほぼブ

---

<sup>1</sup>分析結果の表を参照されたい

ラスである。リスクのほとんどが将来世代（子供）に係るものであることを考えると高めの割引率を想定して除去を行わないのは賛成しかねる。

- 杜撰な作業により飛散する可能性もあるが処理費用にはかなり高めの値を採用しておりそれほど問題ではないと考えられる。逆に放置した場合には地震による飛散も考えうる。
- 肺がんの標準化死亡率において将来の死亡率について現在の値を使っている。これはかなりの不確実性を生むが信頼できる推定値は存在せず環境リスクの推定一般において存在する不確実性で本件固有のものではない。
- リスクの推定全般について労働環境における高曝露下の結果を外挿しているが他に推定する方法がなく閾値の存在は確認されないので妥当だと考える。

## 5.4 今後の課題

政策提言（政府がすべきこと）に関して、二つあると考える。

1. アスベスト以外の学校を取り巻くリスク（例、交通事故、犯罪者など）と今回の分析を比較して、便益の高いほうから政策を実施する。
2. 政策の中身について、政府がすべきことはアスベストの規制と除去のための補助金。

について、補助金の適切な額がわかれば一番良い。今回のアスベスト除去にかかわるアクターを学校、自治体、政府の3つに分けて考察すれば政府の支払うべき補助金の額が算出される。

しかし、今回の分析ではアクター別の利潤最大化を解いていない。学校、自治体、政府を一体として考えている。本来除去費用を支払うのは学校（学校法人、自治体）であり、健康リスクの軽減により便益を受けるのは社会＝政府、自治体であるにも関わらず、分析ではその区別がなされていない。そのために政府の補助金が高アクターの行動にどのように影響するか、その結果アスベスト除去を実施するかどうか分析できない。学校、自治体、政府の個別の効用関数を設定することでそのような分析も可能になるが、本論の検討の範囲を超えるので今後の課題とする。

一方で、学校を公立に限定した上で、学校・自治体・政府の効用が同一であると仮定する考え方もある。ただしその場合は学校の支出と政府補助金の性質に違いがなくなるために、想定していた提言（補助金の額）は言えない。

## 関連図書

- [1] 社団法人日本石綿協会ホームページ ( <http://www.jaasc.or.jp/> )
- [2] 厚生労働省ホームページ(アスベスト情報)( <http://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/roudou/sekimen/index.html> )
- [3] 国土交通省ホームページ(アスベスト問題への対応について) ( <http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/asubesuto/top.html> )
- [4] 文部科学省ホームページ(アスベスト対策について)( <http://www.mext.go.jp/submenu/05101301.htm> )
- [5] 練馬区ホームページ(アスベスト対策)( <http://www.city.nerima.tokyo.jp/notice/asbestos/> )
- [6] 文京区ホームページ(アスベスト対策について)( <http://www.city.bunkyo.lg.jp/topics/asubesuto.html> )
- [7] ヤシマ工業 ( <http://www.yashima-re.co.jp/asbestos-j/01.html> )
- [8] 村山武彦(1991)：アスベストによる居住環境汚染のリスクアセスメントに関する研究．環境科学会誌、4(2)、79-102
- [9] 村山武彦、原科幸彦(1989)：居住環境汚染リスクの評価に関する一研究 - アスベスト汚染を事例として - ．日本リスク研究学会誌、1(1)、75-83 ．
- [10] 村山武彦「わが国における悪性胸膜中皮腫死亡数の将来予測」日本産業衛生学会第75回
- [11] B.T.Mossman,J.Bignon,M.Corn,A.Seaton,J.B.L.Gee「Asbestos:Scientific Developments and Implications for Public Policy」
- [12] 厚生労働省「人口動態統計」
- [13] 国立がんセンター「がんの統計'05」
- [14] 文部科学省「文部科学省中間調査」
- [15] 国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口」
- [16] 国土交通省「鉄筋コンクリート造校舎の標準設計」
- [17] OECD「図表で見る教育 2004」