添付２（追加死亡者の計算方法に関する補足説明）

第１　甲Ａ１１（甲Ａ３０）に基づく地域別の追加死亡者数の推算方法に関する補足

１　相対危険については，諸外国において，PM2.5 の相対危険（Relative Risk　以下，本文では「相対危険」，数式の中では「RR」と表記する）に関する研究報告は，Krewski et al.(2009)をはじめ多数存在している。

しかし，日本国内では，大規模なコホート調査の結果は少なく，また，後述するように，PM2.5 が 0～0.3 ㎍/㎥程度の増加という，比較的増加量が少ない場合の相対危険に関する研究結果は，世界的にも存在しない。

そこで，原告らは，仙台ＰＳの稼働によって生じる大気汚染物質によって，メッシュ毎に相対危険がどれだけ上昇するかを，①大気拡散モデルによる拡散状況の予測，②疫学的知見，③Krewski et al.(2009)，WHO の報告による相対危険から求めることとした。

２　原告ら第５準備書面の第２で主張したとおり，疫学においては，PM2.5 濃度や NO2 濃度増加量（Δx）と相対危険に関する調査結果を集積すると，両者の相関関係（PM2.5 の増加による相対危険の増加）は，以下の指数関数で近似できるとされている（甲Ａ２１）。

$$RR = e^{\beta \Delta x}$$

$$= exp(\beta \Delta x)$$ （甲Ａ１１の２（甲Ａ３０）の１３頁の式６）

３　上記の e は，自然対数の底として用いられる「ネイピア数[1]」であり，底を e とする指数関数は広く使用されている。

４　二段目の *exp* は「exponential」の略であり，指数関数という意味である。

[1] 定数の一つであり，自然対数の底。何回微積分しても変わらない唯一の関数。
なお，e = 2.71828 18284 59045 23536 02874 71352 …と続く超越数である。

指数関数では，底をｅとするルールがあるので，べき指数(βΔx)の部分を標記しやすくするために用いられる。

5　相対危険は，Krewski et al.(2009)及びWHOの報告を使用した。

具体的には，PM2.5が10 μg/m³増加することによる相対危険を，脳卒中の場合1.128，心肺疾患の場合1.128，肺がんの場合1.142，低出生体重の場合1.100，全死亡の場合1.037としている（甲Ａ１１の２（甲Ａ３０）の５頁)。

6　βは計算によって求める。

すなわち，　RR＝*exp*(βΔx)　の両辺の対数をとる[2]と　logRR＝βΔx となるので，　$\beta=\frac{\log RR}{\Delta x}$　と数式変形できる。疾病毎に前項の相対危険の値の対数とΔx(10 μg/m³)を代入すると，疾病毎のβは以下のとおりとなる。

| | |
|---|---|
| 脳卒中 | 0.01204 |
| 心肺疾患 | 0.01204 |
| 肺がん | 0.01327 |
| 低出生体重 | 0.00953 |
| 全死亡 | 0.00363 |

βは，疾病毎に一定であり，後述する線形近似した際の「傾き」となる。

7　ここで，RR＝*exp*(βΔx)に戻ると，疾病毎のβが得られたので，メッシュ毎の大気汚染物質の実際の増加量(Δx)が判明すれば，仙台ＰＳ稼働による相対危険を求められる。

仙台ＰＳを中心とする 1500km×1500km の範囲を対象地域として，1km四方の単位で，仙台ＰＳの稼働によって，例えばpm2.5の濃度がどの程度上昇するかを予測したところ，0～0.3 μg/m³程度上昇するという結果が得られた（甲Ａ１１の２（甲Ａ３０）の６頁図２参照)。

これにより，メッシュ毎の大気汚染物質の増加量(Δx)が得られた。

---

2 「対数をとる」とは，ある値が等しいときに，それを同じ底に対する真数としてはめ込んだ対数の式も等しくなる，という数学的性質を利用した数式変形のことをいう。例えば，$M^k=N$ (>0) が成り立つとき，$\log_a M^k=\log_a N$ も成り立つ。

8　RR＝$exp(\beta\Delta x)$に，得られた各数値を代入して計算すれば，メッシュ毎，疾病毎の仙台ＰＳ稼働による相対危険の値が得られる。

大気汚染物質のある濃度($\Delta x$)の曝露による死亡の影響割合を「曝露寄与危険割合」と定義すると，曝露寄与危険割合は，原告ら第５準備書面の第２、３及び４記載のとおり，相対危険から計算できる。

$RR = exp(\beta\Delta x)$　である場合，左右の逆数[3]もまた等しいので，

$\frac{1}{RR} = \frac{1}{exp(\beta\Delta x)}$　となる。

$\frac{1}{exp(\beta\Delta x)} = exp(-\beta\Delta x)$なので

$$
\begin{aligned}
\text{曝露寄与危険割合} &= \frac{RR-1}{RR} \\
&= \frac{RR}{RR} - \frac{1}{RR} \\
&= 1 - \frac{1}{RR} \\
&= 1 - \frac{1}{exp(\beta\Delta x)} \\
&= 1 - exp(-\beta\Delta x) \quad \text{（指数関数式）}
\end{aligned}
$$

と順次数式変形できる。

この曝露寄与危険割合に，現時点死亡率と人口を掛ければ，追加死亡者数を算出できる（第 10 項参照)。

なお，本計算では，指数関数のべき指数（$\beta\Delta x$ の部分）が微小なので，RR＝$exp(\beta\Delta x)$　を以下の線形式で近似している。

$$
\begin{aligned}
RR &= exp(\beta\Delta x) \\
&\fallingdotseq 1 + \beta\Delta x
\end{aligned}
$$

RR$\fallingdotseq 1 + \beta\Delta x$　を上記の曝露寄与危険割合の数式変形に代入すれば，$\beta\Delta x$ が 1 より充分に微小な条件($\beta\Delta x \ll 1$)下で，

[3] ある数に掛け算した結果が 1 となる数。2 の逆数は$\frac{1}{2}$である。X＝Y が成り立つとき，$\frac{1}{X}=\frac{1}{Y}$も同時に成り立つ。

$$
\begin{aligned}
\text{曝露寄与危険割合} &= 1-\frac{1}{exp\,(\beta\,\Delta \mathrm{x})} \\
&= \frac{exp(\beta\Delta \mathrm{x})-1}{exp\,(\beta\Delta \mathrm{x})} \\
&\fallingdotseq \frac{\beta\,\Delta \mathrm{x}+1-1}{\beta\,\Delta \mathrm{x}+1} \\
&= \frac{\beta\,\Delta \mathrm{x}}{\beta\,\Delta \mathrm{x}+1} \\
&\fallingdotseq \beta\,\Delta \mathrm{x}
\end{aligned}
$$

となるので，暴露寄与危険割合　＝　β Δx　で近似できる。

第６項で示したように，logRR＝β Δx　なので，相対危険を対数変換すると，曝露寄与危険割合の近似値を求めることができる。

９　なお，指数関数式を使用した場合と，近似式としてβを傾きとする線形式を使用した場合の近似性は，以下の表のとおりである。

| β Δx | *exp*(β Δx)（指数関数式） | 1＋β Δx（線形式） | 差 |
|---:|---:|---:|---:|
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 0.0001 | 1.000100⋯ | 1.0001 | ≒0 |
| 0.001 | 1.001000⋯ | 1.001 | ≒0 |
| 0.01 | 1.010501⋯ | 1.01 | 0.000501⋯ |
| 0.1 | 1.105170⋯ | 1.1 | 0.005170⋯ |
| 1.0 | 2.718281⋯ | 2 | 0.718281⋯ |

このように，指数関数には，べき指数(β Δx)が微小であればあるほど，指数関数式と線形式で結果に差が生じなくなるという性質がある。よって，本計算において，線形式で近似せず，指数関数式をそのまま使用して計算しても，得られる暴露寄与危険割合の値はほぼ等しく，かつ，指数関数式

の方がわずかに大きくなる。その結果，追加死亡者も若干増加するので，シミュレーション結果（甲Ａ１１の２，甲Ａ３０）の年間 9.7 人死亡という結論は，むしろ過少に予測した数値となる。

10　PM2.5 等の濃度上昇(Δx)による追加死亡者数は，以下の数式で近似できる。

追加死亡者数　＝　曝露寄与危険割合×現時点死亡者数
　　　　　　　≒　$\beta\Delta$x×現時点死亡者数
　　　　　　　＝　$\beta\Delta$x×現時点死亡率×人口

第２　具体的な計算過程について

１　第１の第６項までは, 全てのメッシュで共通して使用される数値を求めている。

現時点死亡率は, 平成３１年２月２７日付期日外釈明に対する回答書の７頁の表３記載のとおり，WHO の報告[4]を使用した。

人口は，米国航空宇宙局・社会経済データ応用センターの世界人口データベースに収録された数値を引用した（甲Ａ１１の２（甲Ａ３０）の５頁参照)。現時点死亡率は１０万人あたりの死亡者数を示すので，人口は１０万で除している。

２　第７項及び第８項は，メッシュ毎に得られる数値が異なるので，計算過程をイメージしやすくするため，以下では，仙台ＰＳに近い多賀城市（面積 18.71 ㎢）をモデルとして，PM2.5 の濃度上昇による脳卒中の追加死亡者数の具体的な計算過程の説明を行う。

⑴　多賀城市を構成する１８のメッシュの PM2.5 の増加量はエクセルデータの添付 01「Tagajo pixels, bg NO2.xlsx」のとおりであり，平均値は 0.21190274 ㎍/㎥である。

[4] WHO による世界の死亡者数に関するデータベース GHE（Global Health Estimate: Estimated deaths by cause, sex and WHO Member State, 2012)。

脳卒中のβは，第１第６項記載のとおり 0.01204 である。

脳卒中の現時点死亡率は 94.65 である。

人口は 52,755 人である（平成３１年２月２７日付期日外釈明に対する回答書の３頁表１記載の人口 59,074 と異なる点については後述する）。

βΔx×現時点死亡率×人口　にそれぞれ代入すると，

0.01204×0.21190274×94.65×0.52755＝0.127393 人となる。

⑵　同様の計算を疾患毎に行い，さらに NO2 についても行うと，多賀城市における年平均の追加死亡者は，合計 1.14 人という結果が得られた。

この再計算結果をメッシュ単位で表現したものが，エクセルデータの添付 02「Tagajo pixels, bg NO2 calculation + HIA.xlsx」である。

３　なお，上記の説明は，甲Ａ１１の２ではなく，これまでの内山専門委員の指摘を踏まえて再計算した甲Ａ３０を元にしたものであるため，メッシュ毎の人口，PM2.5 濃度上昇量，NO2 濃度上昇量が，平成３１年２月２７日付期日外釈明に対する回答書記載の多賀城市の数値と若干異なる。

これは，添付１（NO2 死亡者の再計算）の再計算を行う過程で 1km×1km のメッシュを 100m×100m に再分割し，市町村毎に集計する過程で，特定の市町村域（この場合は多賀城市域）と集計したメッシュとの間に若干のずれが生じざるをえないためである。

実際には，市町村単位ではなく全メッシュの合計によって結果を算出しているので，上記のずれは，全体を合計した年間 9.7 人の追加死亡者という結果に影響しない。

以　上

添付資料

01　Tagajo pixels, bg NO2.xlsx

02　Tagajo pixels, bg NO2 calculation + HIA.xlsx