化学物質輸送船乗組員に及ぼす有害ガス曝露の健康影響評価

—発がん性物質の場合—

間島隆博*・山口勝治*・山之内 博*・蒲生昌志**

Estimation of Health Condition of Chemical Tanker Crews Transporting Carcinogens

Takahiro MAJIMA, Katsuji YAMAGUCHI,
Hiroshi YAMANOUCI and Masashi GAMO

Abstract

IMO (International Maritime Organization) recognized that chronic exposure to benzene vapor in air may cause leukemia even if the concentration is very low, such as a few parts per million. Chemical tankers in Japan, however, transport various kinds of chemicals over 15 (MT/year). Not only benzene but also another chemical transported by marine vessels have adverse effects to the human health condition. In this paper, firstly the exposure concentration levels of tanker crews engaged in benzene (human carcinogen) and acrylonitrile (probable human carcinogen) transport operations are clarified by results of field measurements. Using these exposure levels, the health conditions of tanker crews are evaluated by a method with LLE (Loss of Life Expectancy). Chemicals transported by tanker in Japan contain both carcinogen and non-carcinogen. The advantage using LLE is that we can compare the degree of the adverse effects induced from exposure to carcinogens and non-carcinogens. Furthermore, taking into account of the dependency of cancer risk on the start age and the duration of the exposure, we represent a simple equation for carcinogens to yield the LLE.

Key words : working environment, LLE, risk analysis, chemical tanker, carcinogen

キーワード : 労働環境, 損失余命, リスク解析, ケミカルタンカー, 発がん性物質

1. 緒 言

国際海事機関 (IMO) はタンカー乗組員への健康被害を憂慮し、ベンゼンを0.5%以上含む物質を輸送する船上でTWA (Time Weighted Average) が1 (ppm)、STEL (Short Term Exposure Limit) が5 (ppm) を越える場合、マスクなどの保護具を装着するよう勧告している。

我が国において、ケミカルタンカーは多品目の化学物質を大量に輸送しており、その中にはベンゼン以外にも健康に悪影響を及ぼす物質が多数含まれる。そのため輸送に従事する乗組員や岸壁での作業

者、周辺住民への化学物質曝露による健康影響が懸念される。

輸送作業中に船内で蒸発した化学物質の一部は、船舶から排出・漏洩し、環境が汚染される。その環境中で活動する乗組員は主に呼吸により化学物質に曝露される。ケミカルタンカーの輸送品目は多種であり、輸送物質ごとに健康影響の種類や程度が異なる。これら化学物質に多様に曝露される乗組員のトータルの健康影響を予防的観点から評価し、対策を立て、管理する必要がある。

健康影響の観点から、化学物質は発がん性物質と非発がん性物質に分類され、別々に評価されてきた。

* 正会員 海上技術安全研究所 (〒181-0004 東京都三鷹市新川6-38-1)

** 非会員 産業技術総合研究所 (〒305-8589 茨城県つくば市小野川16-1)

このため、ケミカルタンカー乗組員のように、発がん性物質と非発がん性物質に曝露された場合、両者に共通な評価指標がなく、トータルとしての健康影響を評価できなかった。

発がん性物質の使用禁止に伴う非発がん性物質への転換を図るに当たり、転換の有効性を評価することを目的として、蒲生らは発がん性、非発がん性、両物質の曝露による健康影響の度合いを損失余命という同一尺度を用いて表す新たな健康影響評価法を開発した⁽¹⁾。この方法により、多種・異なる化学物質による多重曝露での健康影響を比較、評価することが可能となり、対策優先物質の順位付けやトータルな健康影響から見た対策の有効性、合理的な化学物質管理への道が開ける可能性がでてきた。

本報告では、発がん性物質であるとともに海上輸送量が多いベンゼンとアクリロニトリルに議論を絞り、蒲生らが開発したモデルにより損失寿命（0歳における損失余命）の計算を試みた。本手法は現在広く用いられる、生涯発がん確率（ユニットリスクと曝露濃度の積により計算する）⁽²⁾の枠組みから外れるものではなく、さらに曝露の年齢という重要な要素が考慮できるよう拡張されている。この拡張は就業年齢に比較的高濃度の曝露が集中するケミカルタンカー乗組員の解析に有効である。これらの結果をまとめ、発がん性化学物質輸送に従事する乗組員の作業条件を考慮した簡易な損失寿命推定式を提示し、健康影響評価手法のフレームを構築した。

2. 輸送の実態

平成13年の統計データによると、我が国の内航ケミカルタンカーの海上輸送品目数は160、年間輸送量1,500万トン、年間航海数25,000回、ケミカルタンカー数260隻、航海あたりの積み荷量は500~1000トンである。最近数年間、データは大きく変動していないが、総輸送量は減少傾向にある。

2.1 輸送貨物

平成10年から13年までの4年間の貨物別の年平均航海数と年平均輸送量⁽³⁾をFig. 1に示す。キシレン、ベンゼン、スチレンの3品目は特に、大量、頻繁に輸送されており、それぞれ年間航海数1500回を超え、年間輸送量は100万トン以上である。出荷地および受荷地は全国の沿岸地域に広く分布しており、主たる海上輸送路は表日本と瀬戸内海である。

船毎の輸送品目は船により大きく異なり、特定の物質のみを輸送する専用船、品目があまり変化しない船、かなり変化する船と多様である。

2.2 輸送作業

Fig. 1. Transportation quantity by vessels in Japan

本報で議論するベンゼンとアクリロニトリルについて、利用されるケミカルタンカーの構造・設備や基本的作業手順に大きな違いはなく、積み荷役、航海、揚げ荷役、タンククリーニングの各作業から成る輸送サイクルを繰り返して貨物が輸送される。

積み込み作業では、陸上の貯液タンクから陸上のポンプによって固定配管を通して船の貨物タンクに移送される。移送中の貨物タンクからガスが排出され、配管切り離し時にガス漏れが起こる。航海は貨物の海上輸送作業であり、輸送中、貨物タンクからガス漏れが起こる。揚げ荷役では、船内ポンプにより貨物タンクから陸上の貯液タンクに固定配管を通して移送され、貨物タンクからと配管切り離し時にガス漏れが起こる。タンククリーニングでは揚げ荷役後、貨物タンク内、あるいは配管内に残留した化学物質の通風清浄を行い（船によっては水洗浄後に通風乾燥を行う）、次に積み込む化学物質との混合による品質低下を防ぐ目的で行われる。これらの作業中、大気へ漏出、排出されるガスにより汚染された空気を呼吸することで乗組員は化学物質に曝露される。平均的な船の年間航海数は約120回、乗組員年間航海数は約90回である。なお、ケミカルタンカーの構造、作業手順の詳細は文献⁽⁴⁾で述べた通りである。

3. 曝露濃度

3.1 計測方法

いずれの解析手法を用いるにせよ、曝露濃度の実態が明らかでなければ、解析は進められない。そこで、ケミカルタンカー乗組員を対象とし、曝露濃度の調査、計測を行った。乗組員一人一人の襟元にパッシブサンプラー（住友3Mガスモニター-#3500、#3520）

Fig. 2(a). Exposure concentration distribution (Benzene)

Fig. 2(b). Exposure concentration distribution (Acrylonitrile)

Table 1. Result of measurement

Chemicals	Mean Concentration $C(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	Exposure Duration $T(\text{day})$	Unit Risk $UR(\text{m}^3/\mu\text{g})$
Benzene	1.14×10^4	0.59	5.0×10^{-6} *)
Acrylonitrile	6.74×10^3	0.75	6.8×10^{-5}

*) Suggested Value for Benzene is $2.2 \times 10^{-6} \sim 7.8 \times 10^{-6}$. We chose its medium value.

を装着したまま、積み荷役、航海、揚げ荷役、タンククリーニングの各作業を行う。よって、マスク装着などの保護措置の影響はデータに反映されない。タンククリーニング作業の終了後、パッシブサンプラーを密封、回収し、後日、分析する。これより、ある化学物質の積み込みからタンククリーニング終了までの1輸送サイクル中における時間平均曝露濃度を得る。計測サンプルはベンゼン輸送船12隻、乗組員数63人、アクリロニトリル輸送船6隻、乗組員数36人であった。

3.2 計測結果

曝露濃度は乗組員と船舶により大きく異なったため、曝露濃度をある範囲に分割し、その濃度範囲に該当する乗組員の数を計上した度数としてFig. 2に示す。濃度は広く分布し、最小値と最大値には2桁

Fig. 3. Schematic of survival curve

以上の違いがある。中央値はベンゼン $5,300(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 、アクリロニトリル $4,900(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ であった。

航海当たりの平均曝露時間はベンゼン輸送船が0.59日、アクリロニトリル輸送船は0.75日であった。発がん確率と曝露濃度との比であるユニットリスク $UR^{(5)}$ とともに、各物質の計測結果をTable 1にまとめる。後述の解析では表に示した平均曝露濃度を用いる。濃度は気象、船舶、役職等、様々な条件により大きく変化するが、就業期間中の長期的な曝露により、乗組員各員の曝露濃度は平均的な値に落ち着くと考えられるためである。

4. 評価手法

4.1 損失余命計算法

蒲生らが提案したモデルを評価手法として用いる。ここではモデルの大略を記述するに止め、詳細は参考文献⁽¹⁾を参照されたい。なお、文献中でいくつかのモデルが示されているが、基準モデルと称されるモデルを使う。また、ここでいう「発がん」とはがん死亡と同義ではないものの、生涯発がんリスクを、生涯がん死亡リスクと解釈する。よって、発がん後の治癒は考慮しない。

本モデルで用いる損失余命は余命の短縮を意味し、死亡年齢が早まることを扱った指標である。本報でいう「曝露」とはケミカルタンカーから排出される化学物質（ベンゼン、アクリロニトリル）への曝露を意味し、「発がん物質の曝露による損失余命」とは、式(5)による曝露を受けた集団(以降、乗組員集団)の平均余命と、式(4)による曝露を受けない集団(以降、コントロール集団)の平均余命との差(式6)である。この両集団の生存曲線を模式的に表すとFig. 3のようになる。

発がん物質への曝露による過剰ながん死亡により、乗組員集団の曲線はコントロール集団と比較して下方へ移動することが示されている。

ここで、コントロール集団の生存曲線は平成7年

生命表（男性）を用い、平均余命は年齢死亡率をもとに、生命表を用いた計算により各年齢について得られる。

コントロール集団の $x-1$ 歳における全死因死亡率を $\lambda_0(x-1)$ とすると、 x 歳における生存者数 $s_0(x)$ は以下の式で表される。

$$s_0(x) = s_0(x-1) \times \{1 - \lambda_0(x-1)\} \quad \text{式(1)}$$

乗組員集団の x 歳における全死因死亡率 $\lambda(x)$ は、曝露による、新たな死亡率（発がんリスク） $\Delta\mu(x)$ が加算され、以下の式で表される。

$$\lambda(x) = \lambda_0(x) + \Delta\mu(x) \quad \text{式(2)}$$

この式がFig. 3に示される乗組員集団の生存曲線が下方へ移動する原因となる。よって乗組員集団の x 歳での生存者数 $s(x)$ は、

$$s(x) = s(x-1) \times \{1 - \lambda(x-1)\} \quad \text{式(3)}$$

次に、 x 歳の平均余命はコントロール集団の生存者数、乗組員集団の生存者数から、それぞれ次のように表される。

コントロール集団では、

$$L_0(x) = \frac{\frac{s_0(x) + s_0(110)}{2} + \sum_{y=x+1}^{110} s_0(y)}{s_0(x)} \times 1(\text{year}) \quad \text{式(4)}$$

乗組員集団では、

$$L(x) = \frac{\frac{s(x) + s(110)}{2} + \sum_{y=x+1}^{110} s(y)}{s(x)} \times 1(\text{year}) \quad \text{式(5)}$$

ここで、式中の110という数字は男性の最高齢者の年齢を示している。

曝露により乗組員集団の生存者数はコントロール集団の生存者数より小さくなるため、上式で示される平均余命も乗組員集団のほうが小さい値となる。この差がコントロール集団より乗組員集団が損失している余命、つまり損失余命(LLE)である。よって x 歳での損失余命は以下の式により計算される。

$$LLE(x) = L_0(x) - L(x) \quad \text{式(6)}$$

なお、0歳における損失余命 $LLE(x=0)$ を損失寿命と呼び、本報では損失寿命により議論を進める。

がん死亡率の上昇（発がんリスク） $\Delta\mu(x)$ は放射線曝露の疫学調査の結果にもとづく、いくつかの定性的な傾向⁽⁷⁾⁽⁸⁾をまとめた以下の式による。

$$\begin{cases} \Delta\mu(x) = 0 & (x < d) \\ \Delta\mu(x) \propto \mu(x) \times \sum_{y=d}^x \{E(y-d) \times k(y-d)\} & (x \geq d) \end{cases} \quad \text{式(7)}$$

Fig. 4. Distribution of sensitivity, k

ここで、

$\mu(x)$: コントロール集団の x 歳でのがん死亡率⁽⁶⁾

(5歳階級の値を各年齢に内挿して得た)

$E(x)$: x 歳での曝露の有無

(x 歳で曝露有り $E(x)=1$ 、無し $E(x)=0$)

d : ある年齢での曝露が発がんに対して有効となる時間遅れで、10年とする。

また、 $k(x)$ は発がん率が曝露を受ける年齢に依存することを表現するための係数であり、0歳を1とした相対的な値として表すと、Fig. 4のような曲線となる。

次に、式(7)に係数 α を導入し、前述までの定性的なモデルを定量的なモデルにする。

$$\begin{cases} \Delta\mu(x) = 0 & (x < d) \\ \Delta\mu(x) = \alpha \times \mu(x) \times \sum_{y=d}^x \{E(y-d) \times k(y-d)\} & (x \geq d) \end{cases} \quad \text{式(8)}$$

α の値を求めるため、この式を用いて生涯曝露を設定（すべての年齢で $E=1$ ）し、生涯の間に生じる過剰ながん死亡率が次式で表される。

$$R' = \frac{1}{s(0)} \sum_{y=0}^{110} \{\Delta\mu(y) \times s(y)\} \quad \text{式(9)}$$

α の値は現在リスク解析で広く用いられる生涯発がん確率 R （式(11)のように曝露濃度とユニットリスクの積で求められる⁽²⁾）が式(9)で示される過剰な死亡率と一致($R=R'$)するように選ぶ。なお、ここで生涯発がん確率が損失余命という尺度に変換され、従来手法との整合性を保持している。

曝露濃度計測値から損失寿命に至るまでの具体的な計算手順は以下のようになる。

生命表の最小単位は1年であるため、曝露濃度は年平均曝露濃度に換算して扱わなければならない。ある物質（ベンゼン又はアクリロニトリル）に対する年間輸送回数 n (回/年)、1輸送サイクル中の時間平均曝露濃度 c ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)、1輸送サイクルの平

Table 2. *LLE* caused from exposure to concentration, C_{R-5}

Start Age, E_s	Exposure Duration, E_d (years)										
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
15	5.06	8.21	10.3	12.0	13.6	14.9	16.0	16.9	17.5	17.9	
20	3.15	5.21	6.99	8.55	9.88	11.0	11.8	12.5	12.9		
25	2.06	3.83	5.40	6.73	7.84	8.70	9.31	9.70			
30	1.78	3.34	4.68	5.78	6.64	7.25	7.64				
35	1.56	2.90	4.00	4.86	5.48	5.87					
40	1.34	2.44	3.30	3.91	4.30						
45	1.10	1.97	2.58	2.97							
50	0.86	1.47	1.86								
55	0.61	1.00									
60	0.39										

Unit: min.

均時間、つまり平均曝露時間 T (日) から年平均曝露濃度 C_{year} は

$$C_{year} = nTc/365 \quad \text{式(10)}$$

となる。次に、この濃度 C_{year} に生涯曝露されると仮定し、生涯曝露による発がん確率 R は Table 1 のユニットリスク UR を用いて次式で計算される。

$$R = C_{year} UR \quad \text{式(11)}$$

この R における α の値を決定するため、 E はすべての年齢で 1 とし、式 (8) でも生涯曝露を設定する。これより、式 (9) の過剰な死亡率 R' が上記発がん確率 R と一致する α の値を見つけ出す。得られた α を用い、曝露を受けない年齢を $E=0$ として、式 (1) ~ (6) 及び (8) から損失余命、 LLE が計算される。最後に、 $x=0$ での損失余命が損失寿命、 $LLE(x=0)$ となる。

4.2 簡易計算法

前節で示した計算手順は実質的には計算機を利用しなければならない。計算により得られた結果を近似式で示せば、電卓で個別の条件に対応でき、利便性が増す。以下の手順で近似式を求める。

ここでは、ケミカルタンカー乗組員を対象とするので、曝露が起こる時期は 15 歳から 65 歳と仮定する。この期間で、「生涯曝露により 10^{-5} の生涯発がん確率を生じる濃度」(濃度 C_{R-5} とする) に曝露されることを考えて α を固定し、曝露開始年齢 E_s を変化させて損失寿命を計算した。結果を Table 2 にまとめる。

この表から曝露期間 E_d を横軸に取り、縦軸を損失寿命としてプロットすると Fig. 5 (a)、曝露開始年齢 E_s を横軸にした場合は Fig. 5 (b) のようになる。図から明らかなように損失寿命は E_s や E_d に対して線形な関係ではない。

一方、「生涯曝露による発がん確率」 R が 10^{-2} 以下ならば、 R に対して損失寿命は線形で近似できる。

Fig. 5(a). *LLE* distribution Fig. 5(b). *LLE* distribution Fig. 6(a). Relationship between R and RL Fig. 6(b). Error of simple estimation method based on $R=10^{-5}$

様々な「生涯曝露による発がん確率」 R で Table 2 と同じ計算をした結果と Table 2 内の各値との比をとり、さらに、得られた表の算術平均値を RL とすると、 R と RL の関係は Fig. 6(a) のようになり、線形な関係が確認できる。 R は式 (10)、(11) から、曝露濃度 c や年間航海数 n 、ユニットリスク UR の積で表されるの

で、これらの変数に対して損失寿命は線形であることになる。

つまり、 R がTable 2の作成で用いた1000倍に相当する 10^{-2} ならば、単にTable 2の値を1000倍にすれば良い。よって、曝露期間が設定できれば、Table 2で読みとれる値 A と、次式により損失寿命が計算できる。

$$\begin{aligned} LLE(x=0) &= A \times R \times 10^5 \quad (\text{単位: 分}) \\ &= A \times UR \times n \times T \times c \times 10^5 / 365 \quad \text{式(12)} \end{aligned}$$

ただし、すべての R の範囲において線形性が保障されるわけではない。式(11)で得られる値は、 R が 10^{-2} までは1%以内の誤差であるが、 R が 10^{-1} の場合は7%程度低い値が算出される。簡易計算法による誤差(絶対値)をFig. 6(b)にまとめる。本来ユニットリスクはこのような高い発がん確率の推定を目的としたものではないため、過大評価か過小評価かは今のところ判断する材料がない。この意味で R が 10^{-1} のオーダーでは注意が必要である。

5. 解析結果と考察

5.1 解析結果

前章の簡易計算法とTable 1で得られたベンゼン、アクリロニトリルの計測値を用いて、損失寿命を曝露条件(曝露開始年齢、曝露期間、年間航海回数)に対しプロットするとFig. 7~9を得る。ただし、Fig. 9(c)では R が 10^{-1} のオーダーとなったため、解釈に注意を要する。これらの図より、以下のことがわかる。

- (1) 同一条件の時、ベンゼンの損失寿命はアクリロニトリルの損失寿命より小さい。
- (2) 曝露期間が同じでも曝露開始年齢が低いほど、損失寿命は大きい。
- (3) 曝露期間以外の条件が同じならば曝露期間が

Fig. 7. Relationship n and LLE , $E_s=20$ (years), $E_d=40$ (years)

- 長い程、作業従事年間あたりの損失寿命は小さい。
(4) 年間輸送従事回数に比例して損失寿命は増加する。

上記のように同条件であればアクリロニトリルはベンゼンより大きな損失寿命となる。一方、Fig. 1に示される年間航海数、輸送量はベンゼンの方が大きく、平均するとタンカー乗組員はアクリロニトリル

(a) Benzene, $n=1$

(b) Benzene, $n=10$

(c) Benzene, $n=100$

Fig. 8. LLE caused from Benzene transportation

(a) Acrylonitrile, $n=1$ (b) Acrylonitrile, $n=10$ (c) Acrylonitrile, $n=100$ (Caution: R is order of 10^{-1})

Fig. 9. LLE caused from Acrylonitrile transportation

よりベンゼン輸送の機会が多いことになる。

2章で示した年間ベンゼン輸送航海数とケミカルタンカーの隻数から、1隻あたり8(回/年)程度のベンゼン輸送作業に従事する。これより、一例として、20歳～59歳までの40年間の勤務を考えると損失寿命は15時間程度となる。アクリロニトリルでも同

Fig. 10. Distribution of number of excess cancer, $n=8$ (times/year), $E_s=20$ (years), $E_d=40$ (years)

様に考えると、年間航海数4回となり、40年間(20歳～59歳)の勤務で80時間程度と推定される。

本来は上記計算に各物質の1人あたりの年間平均輸送従事回数、 n を用いるべきである。しかし、ケミカルタンカー乗組員総数または1隻あたりの平均乗組員数などの数値が明確でないため、各物質の1隻あたりの年間平均航海数を用いた。

この結果から、乗組員集団が持つベンゼンによるリスクを1とすると、アクリロニトリルはベンゼンの5倍程度のリスクとなる。よって、対策が必要となれば、その優先順位はアクリロニトリル、ベンゼンの順であり、対策の効果は5倍程度になる。

また、本モデルの興味深い出力として、Fig. 10に曝露による過剰ながん発生数の年齢分布を示した。この結果は上記ベンゼンの輸送条件($n=8$, $E_s=20$, $E_d=40$)により計算されており、発がんの可能性が80歳前後で最も高くなることが分かる。

5.2 対策

発がん確率が曝露濃度に比例し、損失寿命が発がん確率に比例するため、曝露濃度の低減率はそのまま発がん確率あるいは損失寿命の低減率となる。今回はマスク装着の効果が反映されない曝露濃度計測結果を用いたため、実態より高めの解析結果、損失寿命が得られているものと考えられる。ベンゼン輸送船上の作業環境濃度のデータから適切な時期、場所におけるマスク装着により、曝露濃度が80%程度低減する可能性が示唆され⁽⁹⁾、大きな効果が期待できる。

6. 結 言

発がん性物質と非発がん性物質のリスクを統一的に評価するための手法が開発された。この手法を発がん性物質であるベンゼンとアクリロニトリルの海上輸送に従事するタンカー乗組員の健康影響評価に適用し、発がん性物質輸送に伴う乗組員の潜在的危

険性を評価した。評価では実船での曝露濃度と運航データを用いた。損失寿命の推定が容易に出来るよう簡易な計算式を提示するとともに、解析結果から対策の順位付けを明らかにできた。

ここで示した手法はベンゼン、アクリロニトリルに限らず、ユニットリスクが提示されている発がん性物質について適応できる。さらに本モデルの大きな利点は、非発がん性物質にも拡張できる点にあり、今後データを蓄積することにより、5章で示したようなリスクの比較を様々な物質に対して適応する予定である。

最後に参考文献⁽¹⁾の注記をここに繰り返す。損失余命は曝露集団に対するリスク指標であって、曝露した個人のリスクの指標ではない。つまり、1時間の損失寿命が計算されたとして、曝露集団であるケミカルタンカー乗組員すべてが等しくこの時間を損失するものではない。実際には特定できない一部の乗組員が1時間以上の損失を被ることになる。

謝 辞

本報告に記載されたデータは多くのケミカルタンカー乗組員、化学工場事業所の協力の下、得られたものであり、ここに感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 蒲生昌志, 岡 敏弘, 中西準子: 発がん性物質への曝露がもたらす発がんリスクの損失余命による表現—生命表を用いた換算—, 環境科学会誌, 第9巻1号, pp.1~8, (1996).
- (2) Kolluru, R.V. et al.: Risk Assessment and Management Handbook, McGraw-Hill, (1996), 平石 次郎, 池田 三郎他 (訳): リスクアセスメントハンドブック—化学物質総合安全管理のための—, 丸善株式会社, (1998).
- (3) 全国内航タンカー海運組合: 内航ケミカル船輸送品目, 全国内航タンカー海運組合調査資料.
- (4) 山口 勝治, 藤井 忍, 間島隆博, 山之内 博: ケミカルタンカーにおけるベンゼン輸送中の乗員

のガス暴露濃度, 日本航海学会論文集, 第102号, pp.211-217, (2000).

- (5) USEPA: Integrated Risk Information System, <http://www.epa.gov/iris/>
- (6) 国立がんセンター: 悪性新生物死亡率 (平成9年, 男性), http://wwwinfo.ncc.go.jp/jp/statistics/1999/tables/t04_j.html
- (7) Gofman, J.W.: Radiation and Human Health, Sierra Club Books, (1981), 今中哲司他 (訳): 人間と放射線—医療用X線から原発まで, 社会思想社, (1991).
- (8) Gofman, J.W.: Radiation-Induced Cancer from Low-Dose Exposure: An Independent Analysis, Committee for Nuclear Responsibility, (1990).
- (9) Majima, T., Yamaguchi, K., Fujii, S. et al.: Working Environment Level on Chemical Tanker Engaged in Benzene Transfer Operation, Proceedings of 6th ISME Tokyo, Vol. I, pp.101-106, (2000).

質 疑 応 答

津金正典 ((株)日本海洋科学):

- (1) 本研究成果は何人程度の集団に対する指標として妥当なのでしょうか。
- (2) ケミカルタンカー乗組員の発がん性物質に対する危険認識は高いのでしょうか。

間島隆博:

- (1) 計算結果は人数によらず、同じ答えとなります。その答えの信頼度は母集団の人数が多いほど上がる傾向にあると言えますが、実際に何人必要であるかまでは言えない状況です。
- (2) どの船も高濃度曝露が予想される作業、場所、期間で保護具の装着が励行されているようです。主観的イメージになりますが、ある程度の曝露については、乗組員の間に「あきらめ」があり、漠然とした危機意識、不安感を持たれているように感じます。