

再処理施設からの低レベル廃液の海への放出
に係る外部被ばく線量の計算(資料集)

1977年5月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001

1977年 5月

再処理施設からの低レベル廃液の海への 放出に係る外部被ばく線量の計算

実施責任者	平山昭生*
報告者	岸本洋一郎*
	成田脩*
	篠原邦彦*

期間 1975年7月1日～1977年5月10日

目的 再処理施設の詳細な安全審査用資料として作成した。

要旨 昭和52年4月25日に承認された再処理施設からの低レベル廃液の海への放出に係る安全審査のために作成した外部被曝に関する資料を整理するためにまとめた。

なお、計算式の導入その他において大洗工学センターの梶芳光昭放射線管理課長代理および本社安全管理室の田辺裕研究員に、御協力いただいた。

目 次

I	昭和52年2月18日に提出した資料より	
	「外部被曝線量試算のための参考資料」	
1.	「試算分科会報告書(Ⅲ)－放射性廃棄物の海洋放出による外部被曝線量の試算－」	
	(昭和43年12月, 原安協, 海放特, 試算分科会)より抜粋	
1-1	漁網の汚染係数	1
1-2	海岸砂の汚染係数	2
1-3	船体の汚染係数	3
1-4	漁業作業時間等	8
1-5	被曝時間	10
2.	海岸砂の汚染係数について	13
3.	漁業労働時間について	16
4.	被曝線量計算に用いる平均エネルギーについて	21
5.	外部被曝線量試算について	27
6.	外部被曝線量評価説明図	29
6-1	γ 線被曝	29
6-2	β 線被曝	31
II	核種別の外部被曝線量計算	33
III	その他	67
1.	堆積漁網からの β 線外部被曝	67
2.	作業中の漁網からの γ 線外部被曝	68
3.	被曝計算式の誘導例(γ 線)	69
4.	流向頻度および海水中放射能濃度算出に使用した式	73
5.	放出廃液の組成と放出モードについて	75
6.	計算に必要なパラメータ	76
7.	参 照 文 献	90
IV	付 録	91
	「再処理施設からの低レベル廃液の海への放出に係る安全性に関する書類」	
	添付資料(赤本)より抜粋(p95~101)	

I. 昭和52年2月18日に提出した資料より
「外部被曝線量試算のための参考資料」

1. 「試算分科会報告書(Ⅲ)-放射性廃棄物の海洋放出による外部被曝線量の試算」より抜粋

1-1 漁網の汚染係数

C 漁網汚染による被曝率計算に用いたデータ

汚染海水中で使用する漁網、縄などの汚染度に関してはそのデータが十分でない。しかるに反面、わが国の漁業は盛で漁撈に従事する人も多い。このような理由から、漁具による線量の試算には、現在をしうるいくつかの方法を用いてのアプローチを試み、全く異なった手段による推算をいくつか行なって比較検討することにした。

すなわち、次の様な方法およびその根拠にもとづくものである。

- (1) 海底土汚染による表面 β 線量率は海底土のCFを 10^4 にとつて求められるが、その値の $1/20$ を漁網からの β 線量率とする方法。⁽¹⁾これはウインズケールにて海底土を採取し、その水域で操業するトロール網と両者を大ざっぱにG.M.で測定した場合の比である。⁽²⁾
- (2) 漁網のCFを 4×10^3 にとつて汚染度を求め、submersionモデルにて手の β 線量率を計算する。 4×10^3 は下記に示した英国Dounreay施設における放出経験にもとづいている。近傍の湾(Sandside Bay)の海水中核種濃度と、湾に設置されているサケの定置網の汚染度測定値との両者の年平均値を比較すると、1965年、1966年について次のようになっている。⁽³⁾

第C-1表

		$^{95}\text{Zr}-^{95}\text{Nb}$	^{106}Ru	^{144}Ce	
1966年	海水	66	11	56	pCi/l
	漁網	36	27		pCi/g
	CF	0.5×10^3	3×10^3		
1965年	海水	86	10	115	pCi/l
	漁網	335	43		
	CF	4×10^3	4×10^3		

海水、漁網のデータからCFを計算すると表中のようになり、高い側の値として 4×10^3 はよくそろっていると云える。

なお、漁網を実験的に汚染させる研究を続行中であるが、Ru, Eu, Zr-Nbでの結果をみると、いずれもおおよそ 10^3 程度のCFが観測された(V-B)。したがって、この試算においては、高い値として、前述の 4×10^3 を用いた。

- (3) CFを 4×10^3 により、 100 pCi/g の網汚染度に対する手の β 線量率を $100 \mu\text{rad/hr}$ とする。これは、上記Dounreayでの漁網を、 $12 \times 8 \times 2$ インチの大きさにパックし、表面における β 線量率を実測しているが、漁網汚染度とその線量実測値の年平均を比較す

ると、⁽³⁾

1965	ZrNb, Ru, Ce	500 pCi/g	142 μrad/hr
1966	"	100 pCi/g	74 μrad/hr

のようになることから、大きい側の値を丸めて、100 pCi/g → 100 μrad/hr としたものである。

引用文献

- (1) Dunster, H. J. et al.,: Environmental Monitoring associated with the discharge of low activity radioactive waste from Windscale works to the sea, Health physics 10, 353-362 (1964).
- (2) Dunster, H. J.: Private communication.
- (3) MAFF, Fishes Radiobiological Laboratory : Radioactivity in surface and coastal water of the British Isles. Technical Rept. ERL-1. (1967).

1-2 海岸砂の汚染係数

D 砂, 海底土の汚染係数

砂および、海底堆積物 (mud, silt, detritus) の汚染係数を日本のフォールアウトデータや英国での沿岸放出による経験値をもとにして各核種についてまとめてみると次のようになる。

第D-1表

	Ru	Sr	Cs	Zr-Nb	Ce	全体として
海浜砂	4 × 10 ² (6) 10 ³ (1)		10 ² (1)	5 × 10 ² (6)	10 ³ (2)	10 ³
海底堆積物	10 ³ ~10 ⁴ (5) >10 ³ (4)	10 (2)	10 ³ (6) 10 ² (2)	10 ³ ~10 ⁴ (3) 10 ⁴ (6)	10 ⁴ (2)	10 ⁴

再処理工場から放出される核種のうち、主要なものは大体含まれているので、全体をひっくるめた値として10³ (海浜砂), 10⁴ (海底堆積物) を採用した。海浜砂のデータはやゝ不足であるが、一般に海浜砂の汚染度は silt や海底堆積物に比べて1~2桁以上低いことが広く観察されているので、10³ という値は安全側にあると考えられる。

引 用 文 献

- (1) Preston, A : International Symposium on Radioecological concentration Process, Stockholm April 1966.
- (2) Nagaya, Y & M. Saeki : Accumulation of Radionuclides in Coastal Sediment of Japan (I) Fallout Radionuclides in some coastal Sediment in 1964 - 1965. Jour. of Radiation Reseach 8 (1) 37-43 (1967).
- (3) Morgan, F.: The monitoring of artificial radioactivity in waters round the British Isles. in "Radiological Monitoring of the Environment" p. 11-26. (1965).
- (4) 山県登・岩島清：港湾の放射能汚染に関する調査研究・公衆衛生院報告 14(4) 183-193('65).
- (5) Templeton, W. L. & A. Preston : Transport and distribution of radioactive effluents in coastal and esturine waters of the U. K. Disp. of Rad. wastes into the seas, Oceans and Surface waters. p. 267~289 (1966).
- (6) Jefferies. D. F.: Fission product Radionuclides in sediment in North East Irish Sea. Helgoländer wiss. Meer esunters. 17, 280-290 (1968).

1-3 船体の汚染係数

E 汚染海水による船体の汚染

汚染海水による船体の汚染の研究資料は殆んど存在しない。その僅かな資料として1954年の第1次俊鷗丸調査と1956年の第2次俊鷗丸調査の調査結果の報告のなかに、核実験による放射能汚染海域を俊鷗丸が航行中に甲板および甲板上に張った天幕の放射能汚染の測定結果が示されている。また放射性物質を取扱う実験室の建設の際に、建築材料とくに床材料の放射能汚染やその除去についての実験や研究はかなり行なわれている。これらの試料は汚染海水による船体汚染にある程度の情報を提供するだろう。これらの結果を簡単にここに示す。

1. 俊鷗丸の資料

(1) 第1次俊鷗丸調査結果

第1次調査は1954年3月1日のビキニ環礁での核実験に対し同年5月15日より7月4日迄調査が行なわれた。この結果を第E-1表に示す。なお、測定についての諸

条件は次の通りである。

(a) 測定場所

A：船首上甲板中央部

B：船首上甲板の一隅。海水タンクに吸みあげた海水があふれでて始終流入滞留し蒸発している。

C：甲板上木鋸部の凹みで常に塵がたまっている。

天幕：2，3ヶ所の平均値

(b) 船体計測

サーベイ・メータで計測した。マイカと対象物との距離約1 cm。10分間3回計測の平均値。科研製携帯用サーベイ・メータ (G.M.)

(c) 海水計測

Fe と Ba の水酸化物による沈澱物を測定した。

科研製32進G.M. カウンター

計数効率 7.7 %

B.G. = 21 ± 2 cpm

(2) 第2次俊鷗丸調査結果

第2次調査は1956年5月21日より約2ヶ月間に10数回の核実験が行なわれた事に対する調査で、第1次調査といちじるしく異なる条件は調査中にも実験が行なわれたことである。これらの結果を第E-2表に示す。

(a) 測定場所

船体の甲板上15ヶ所を測定し、その平均値を示す。

(b) 船体計測

科研製S.U.P.-3型サーベイ・メータ

マイカを甲板面に密着させて測定

シンチレーション・カウンタによる海水中の放射能測定：

$1 \frac{1}{2} \times 1 \frac{1}{2} \phi$ NaI クリスタル (科研製) 検出部はポリエチレン袋で包み、

海水に投入して測定。B.G. は約174 cpm

(c) 海水計測：第1回と同じ。

第1，2次調査とも雨水，air，dust の測定法については説明を略す。

第 E - 1 表

月 日 1954	甲 板 (cpm)			天 幕 cpm	海 水 cpm/l	雨 水 cpm/l	dust cpm/m ²
	A	B	C				
5. 22	10	28	39	—	4	17,400	0
23	0	17	30	0	—		0
24	0	14	24	0	0		0
25	0	0	28	0		9,000	0.83
29	7	18	20	—	—		0
30	14	52	22	22	146		0
31	30	42	16	20	450		0.67
6. 1	23	64	11	6	25	4,000	0
2	36	52	27	—	11	650	0.53
3	28	33	13	0	2	560	0
4	23	39	23	17	0		0.13
5	19	40	12	10	0		0.40
6	21	43	20	15	0		0.24
7	16	54	13	14	2		0.14
8	14	44	0	0	0		0.41
9	10	40	13	14	0	730	0.39
10	36	56	25	20	6		0.37
11	16	41	12	10	10	500	0
12	20	40	6	12	1,075		0
13	32	70	16	10	381		0
14	30	80	25	30	654		0
15	26	80	22	25	3	160	0
18	26	80	20	10	325	730	0
19	12	70	20	20	490		0
20	10	90	10	5	743		0
21	20	171	10	20	499		0
22	20	100	10	10	6	61	0
26	20	90	0	0	6		0.06
27	20	100	0	0	46	93	0
28	20	100	0	0	113		0
29	10	100	0	0	4		0
30	10	100	0	0	2		0
7. 1	10	100	0	0	0		0

第 E - 2 表

月 日 1956	甲 板 c pm	海 水 c pm/m ³	海 水 シンチ	天 幕	air μCi/ml	dust μCi/m ² /d	雨 水 μCi/ml
6. 4	46	—	396	80	×10 ⁻¹⁰	6.4	×10 ⁻⁶
6	52	—	283	70	2.62	0.56	7.3
8	39	14.4	248	80	0.06	7.07	0.54
10	31	7.6	225	90	0.21	7.39	
12	25	16.0	250	90	0.03	31.9	
14	21	18.6	380	60	0.03	30.9	5.9
16	43	19.3	380	160	2.27	13.5	0.34
18	47	21.9	288	140	0.40	32.2	71.3
20	43	39.5	320	130	2.00	62.3	56.2
21	50	11.6	262	110	1.70	9.6	
23	35	8.1	260	100	0.04	3.2	80.1
25	23	4.1	222	60	0.04	20.3	55.8
27	15			60	0.09		
29	8				0.08		1.9

第 E - 3 表

月 日 1956	ペンキ塗装部 c pm	未塗装部 c pm
5. 30	0	0
6. 3	0	0
4	10	30
5	20	30
6	10	20
8	10	20
9	10	30
10	10	30
流失により新しいものと交換		
12	0	0
13	10	10
14	10	10
16	10	10
18	0	0
19	0	10
20	0	20
21	10	10
23	10	10
25	10	10
26	0	0
27	0	0

2. 床材料の放射能汚染

床材料の放射能汚染は材質，床の化学的性質，強度や表面の多孔性等の物理的性質によって影響をうける。木板の場合，もちろん塗装部分の方が未塗装部分の方より汚染度は低い，塗装材質によってもいちじるしく異なる。俊鷗丸調査（第2次）ではペンキ塗装と未塗装の木片（ $10 \times 10 \times 100 \text{ cm}$ ）を船尾より曳航した。その結果を第E-3表に示す。

また放射性核種の差により同質材料でも汚染度は，かなり異なることも判っている。

3. 考 察

第1，第2次俊鷗丸の調査結果では，船体汚染の原因は海水ではなく主として雨水によるものであると認定されている。これは一般に海水中でイオン状で存在する ^{90}Sr や ^{137}Cs は船体表面においてイオン付着によって汚染されるが含塩量の多い海水では汚染し難い状態で予想される。また希土類等のように海水中でコロイド状又は粒子状で存在するものは物理的に付着汚染しても流水等によって除去されやすいものと思われる。しかし，第E-1表と第E-2表による甲板の汚染が雨水によるものでなく全て海水の汚染によるものと仮定し概略計算を行なった結果，甲板の放射能濃度は 1 cm^2 あたり海水 1 ml の放射能濃度の約10倍をこえることはないだろうと考えられる。この計算は無限平面の線源上 1 cm にGM管の窓面を置き測定した際に $3,000 \text{ cpm}$ は 18 mrad/hr に相当し，これより 1 cpm は $10^{-6} \mu\text{Ci/cm}^2$ とした。

衣服についても天幕の汚染度から汚染海水の飛沫による汚染度はほとんど問題にならないものと推定される。

4. 引用文献

- (1) 佐々木，村松，堀田，和達： ^{90}Sr による床材料の汚染およびその除去の研究
Radioisotopes vol. 7, №1, (p47~p52) (1958)
- (2) 和達，宮坂：各種塗料による塗装表面の放射能汚染とその除去，Radioisotopes
vol. 13, №6 p462~p464 (1964)
- (3) 水産庁調査研究部：ビキニ海域における放射能調査，(1955)
- (4) 水産庁調査研究部：昭和29年におけるビキニ海域の放射能調査報告（第2集）
(1955)
- (5) 水産庁調査研究部：1956年核爆発実験影響調査報告（第1集）(1956)

1-4 漁業作業時間等

1. 漁業

一般に漁業は、沿岸漁業、近海漁業、遠洋漁業に分類される。沿岸漁業は日帰りで操業され、距岸30㎞程度が限度とされている。近海漁業は1週間～20日程度漁場に滞在し、漁船も沿岸漁業に比し大型で、日本近海において操業されているものである。遠洋漁業は数ヶ月にわたり海上に滞在し、海上で操業を実施する漁業である。

ここでは主に、茨城県中部海域で操業する沿岸漁業についてみると、これらはほとんどが200m等深線内特に70m線以浅の天然魚礁を中心に、操業が実施されている。その漁業は第A-1表(省略)に示したごとく、曳網漁業、刺網漁業、延縄漁業、釣漁業、旋網漁業、定置網漁業、採貝草漁業に分類される。このうち旋網、定置網漁業は周年単一操業であるが、他は0～5トンの小型船を用いて時期により、漁業種類が変わり、幾つかの組み合わせで年間操業する。したがって、漁獲される魚類は、シラス、イワシ、エビ、イナダ、スズキ、ヒラメ、カレイ、タイ、タコ、アワビ等の回遊性魚類から底棲性魚類まで広い範囲におよんでいる。

この中で、本県沿岸の基幹漁業は、シラス曳網、イナダ刺網、タイ一本釣、エビ板曳網漁業の4種類であり、これらは水深50m以浅が主な漁場となり、シラス曳網は水深10m～20mに好漁場が形成される。

使用漁船は、0～1トンが全体の約50%、1～2トンが30%、2～3トンが10%、3～5トンが10%で、小規模階層が主体を占めている。すなわち、前述のごとく沿岸性の操業形態をとっている故である。

操業隻数は、約900～1,000隻と推定され、従事者は900人～1,000人であろう。漁期は、4月～12月がもっとも盛んで、1月～3月はタコ類の漁獲に左右されている。

2. 漁業作業時間

漁撈作業における労働時間の配分は第A-2表(省略)に示した。手の接触時間のもっとも長い漁業は、シラス曳網漁業で、これは1日に何回も投揚網を繰り返す、時には日に20回の操業を実施するためである。

漁網がもっとも長く水中に滞留する漁業は、底刺網、ニシン刺網漁業であり、これらはいずれも一晩海中に放置しておくためである。

海上における労働時間のもっとも長いのは曳網類ではサヨリ曳網業である、刺網類ではイナダ刺網漁業である。これは夕刻より朝方まで一晩中操業を実施するからである。

本県の沿岸漁業における年間実稼動日数は、200日～250日であり、1日平均稼動時間は、12時間程度である。

3. 漁具の種類

漁具漁法の種類は、3つに大別できる。

網漁具；主として漁具の大部分かあるいは主要部分が網地を以て構成され，魚群を一斉に漁獲できるように造られている。

釣漁具；釣針が漁具の主要部となっており，魚族を個々に漁獲するようつくられている。

雑漁具；前の何れにも属し難い漁具である。

本県における代表的な漁具は，網漁具としてはシラス曳網，イナダ刺網，エビ板曳網漁業釣漁具としては，タイ一本釣漁業である。

4. 網地重量および体積

漁具の重量は，主要部の網地と附属資材（ロープ類，浮子類，沈子類等）の合計をもって示すべきであるが，附属具の重量算出が，困難なため，基本の網地の重量算出にとどめ，第A-3表(省略)に示した。網地のもっとも重量の重いものは，旋網，定置網で，網地重量のみで旋網は網9トン，小型定置で2トンを示している。これに附属具を加算すると相当な重量になることが予想される。その他の漁具では小型機船曳網，餌料エビ曳網が10kgを越える。

漁船に載貨された漁具の体積を実測すると第A-4表，旋網40m²が最大で他は10m²以下であり，小型船においては2m²以下である。

第A-4表
漁 具 体 積
単 位 cm

漁業種	項目	体 積	備 考
シラス曳		$180 \times 120 \times 60 = 1.30 \times 10^6 \text{ cm}^3$	
エビ板曳		$150 \times 110 \times 100 = 1.65 \times 10^6 \text{ cm}^3$	
イナダ刺網		$90 \times 70 \times 80 = 0.58 \times 10^6 \text{ cm}^3$	但シ10反分
底刺網		$240 \times 110 \times 25 = 0.66 \times 10^6 \text{ cm}^3$	但シ40反
汽船底曳		$280 \times 280 \times 40 = 3.13 \times 10^6 \text{ cm}^3$	
小型延縄		$(28)^2 \times 3.14 \times 10 = 0.025 \times 10^6 \text{ cm}^3$	1針
小型旋網		$324 \times 330 \times 100 = 1.069 \times 10^6 \text{ cm}^3$	但シ1艘分
大中型旋網(1)		$540 \times 470 \times 180 = 4.568 \times 10^6 \text{ cm}^3$	〃
〃 (2)		$440 \times 580 \times 170 = 4.338 \times 10^6 \text{ cm}^3$	〃
〃 (3)		$490 \times 600 \times 140 = 4.116 \times 10^6 \text{ cm}^3$	〃

(注) 船上の漁具を実測する。

1-5 被 曝 時 間

各被曝様式における被曝率が推算されたとき，その年間被曝時間の大小により年線量が考慮の対象となる。被曝時間はかなり不定のものもあつて一律に定めることはできないが，ここでは，日光浴，水泳，その他については常識的な範囲での値をモデルとして設定し，具体的なケースにはそれをスライドして考えればよいという様にし，漁業労働に関するものは，種々の主要漁業のなかでの最大値をとった。

第Ⅱ-2表 モデルとして設定した被曝時間

	漁網操作	砂上被曝	水中被曝	海水被曝	船上被曝
日光浴		100			
汐干狩		10			
水 泳			100		
海浜業		500			
網修理	2,000				
漁 撈	2,000			3,000	1,000

単位：時間

これらのもとになる詳細なデータはV-Aにあり，定置，底曳，浮曳，旋網，刺網，延縄等の漁業従事のうち，年間延作業時間の大きくなるケースは各種刺網と各種延縄漁業に季節的に順次従事する人々に当る。

第Ⅲ-1表 γ 線による全身被曝

被曝様式		実効(1) エネルギー	(2) 照射率	(3) 照射率	被曝時間	年間 照射量	使用する仮定, 関連因子の値
船上被曝	海水からの寄与	MeV 1	R/hr $1.1\bar{\chi}$	R/hr 2×10^{-7}	hr/year 3000	R/y 6×10^{-4}	$(DR) = \frac{k\gamma}{2\mu\omega} \left\{ 1 + \frac{a}{(1-b)^2} \right\} \bar{\chi}$ γ 線再生効果は水中領域でのみ考慮している。
		0.5	$0.6\bar{\chi}$	1.1×10^{-7}	3000	3×10^{-4}	
	船体汚染	1	$1.1\bar{\chi}$	2×10^{-7}	3000	6×10^{-4}	$(DR) = k\gamma L_n \sqrt{1 + (R_0/h)^2} (CF) \bar{\chi}$ $R_0 = 5m$ $h = 1m$ $(CF) = 10$ としている
		0.5	$0.6\bar{\chi}$	1×10^{-7}	3000	3×10^{-4}	
水泳時被曝		1	$2.2\bar{\chi}$	4×10^{-7}	100	4×10^{-5}	$(DR) = \frac{k\gamma}{\mu\omega} \left\{ 1 + \frac{a}{(1-b)^2} \right\} \bar{\chi}$
		0.5	$1.2\bar{\chi}$	2.2×10^{-7}	100	2×10^{-5}	
海浜における被曝	日光浴(砂上)	1	$1.3 \times 10^3 \bar{\chi}$	2.3×10^{-4}	100	2×10^{-2}	$(DR) = \frac{k\gamma}{2\mu_s} \left\{ 1 + \frac{a}{(1-b)^2} \right\} \bar{\chi}_s$ $\bar{\chi}_s = \rho_s (CF) \bar{\chi}$
		0.5	$6.7 \times 10^2 \bar{\chi}$	1.2×10^{-4}	100	1×10^{-2}	
	海浜染(砂上)	1	$1.3 \times 10^3 \bar{\chi}$	2.3×10^{-4}	500	1×10^{-1}	汚染は地下方向に無限, 一様とする。 $(CF)_{sand} = 1 \times 10^3$ を採用
		0.5	$6.7 \times 10^2 \bar{\chi}$	1.2×10^{-4}	500	5×10^{-2}	
	汐干狩(底土)	1	$1.3 \times 10^4 \bar{\chi}$	2.3×10^{-3}	10	2×10^{-2}	計算式は上記と同様 $(CF)_{mud} = 1 \times 10^4$ を採用
		0.5	$6.7 \times 10^3 \bar{\chi}$	1.2×10^{-3}	10	1×10^{-2}	
積載漁網からの被曝	小体積状	1	$2.1 \times 10 \bar{\chi}$	3.8×10^{-6}	1,000	4×10^{-3}	$(DR) = k\gamma \frac{M}{4\pi r_0^2} (CF) \bar{\chi}$ $(CF) = 4 \times 10^3$ を採用 点源と考え, 自己吸収も無視している
		0.5	$1.2 \times 10 \bar{\chi}$	2.1×10^{-6}	1,000	2×10^{-3}	
	大体積状	1	$4.4 \times 10^3 \bar{\chi}$	8×10^{-4}	1,000	8×10^{-1}	$(DR) = \frac{k\gamma}{2\mu_a \rho} (CF) \bar{\chi}$ 網山の表面における値を求めている。 $(CF) = 4 \times 10^3$ を採用
		0.5	$2.4 \times 10^3 \bar{\chi}$	4.4×10^{-4}	1,000	4×10^{-1}	
廃液輸送管(*)		1	$2.2 \times 10^{-5} QL$	$2.2 \times 10^{-5} L$	8,000	$2 \times 10^{-1} L$	$(DR) = \frac{k\gamma}{2\pi r_0} \frac{Q}{V} SL F\left(\frac{\pi}{2}, \mu r_0\right)$ γ 線の直達成分のみについて計算している。

(注) (1) 実際のエネルギーは 0.5~1 MeV 以下と考えられるので, その値の大小による被曝率の変化をみるためにこの両者の値を用いて比較した。

(2) 海水濃度(したがって放出率も)を未知数とした場合の照射率

(3) 年間における平均海水濃度を $1.8 \times 10^{-7} \mu Ci/cm^3$ とした場合(内部被曝に関する報告書を参照)の照射率

(*) 廃液輸送管の陸上部分からの被曝について計算している。

- γ 線の散乱による増加は考慮されていない。
- 遮蔽係数(L)は未知数としている。
- 関連因子の数値は次のとおりである。

流量率(V) = $300 m^3 / day$

管断面積(S) = $4.9 \times 10^3 cm^2$ (直径 25 cm)

被曝点(r_0) = $1 \times 10^3 cm$

- 汚染飛沫による被曝, トリチウムによる。被曝については本文参照

第Ⅲ-2表 β線による皮膚被曝

曝様式		実効(1) エネルギー	(2) 線量率	(3) 線量率	被曝時間	年間線量	使用する仮定、関連因子の値
船上被曝	海水からの寄与	MeV 1	$7.4 \times 10^{-2} \bar{\chi}$	1.3×10^{-3}	3000	rad/y 4×10^{-5}	$(DR) = \frac{k\beta}{2\mu\omega} \left[e^{-\mu ah} - \mu ah \int_{\mu ah}^{\infty} \frac{e^{-t}}{t} dt \right] \bar{\chi}$
		0.5	$1.6 \times 10^{-3} \bar{\chi}$	2.9×10^{-10}	3000	9×10^{-7}	被曝高 $h = 2m$
	船体汚染	1	$1.3 \times 10^2 \bar{\chi}$	2×10^{-5}	3000	6×10^{-2}	$(DR) = k\beta \chi_s = k\beta (C.F.) \bar{\chi}$
		0.5	$1.8 \times 10^2 \bar{\chi}$	3×10^{-5}	3000	9×10^{-2}	(C.F.) = 10 を採用
水泳時被曝		1	$1.1 \bar{\chi}$	2×10^{-7}	100	2×10^{-5}	$(DR) = \frac{k\beta}{2\mu\omega} \bar{\chi}$
		0.5	$0.53 \bar{\chi}$	1×10^{-7}	100	1×10^{-5}	
海浜における被曝	日光浴	1	$1.1 \times 10^3 \bar{\chi}$	2×10^{-4}	100	2×10^{-2}	$(DR) = \frac{k\beta}{2\mu_s} \bar{\chi}_s$
		0.5	$0.53 \times 10^3 \bar{\chi}$	1×10^{-4}	100	1×10^{-2}	$\bar{\chi}_s = \rho_s \cdot (C.F.) \bar{\chi}$
	海浜業	1	$1.1 \times 10^3 \bar{\chi}$	2×10^{-4}	500	1×10^{-1}	汚染は地下方向に無限一様とする
		0.5	$0.53 \times 10^3 \bar{\chi}$	1×10^{-4}	500	5×10^{-2}	(C.F.) _{sand} = 1×10^3 を採用
	汐干狩	1	$1.1 \times 10^4 \bar{\chi}$	2×10^{-3}	10	2×10^{-2}	計算式は上記と同様
		0.5	$0.53 \times 10^4 \bar{\chi}$	1×10^{-3}	10	1×10^{-2}	(C.F.) _{mud} = 1×10^4 を採用
漁網操作による被曝	(A)	1	$5.3 \times 10^2 \bar{\chi}$	1×10^{-4}	2000	2×10^{-1}	Windscale で得た経験 $(DR) \frac{1}{20} \times 1.07 \bar{E} (C.F.) \bar{\chi}$
		0.5	$2.6 \times 10^2 \bar{\chi}$	5×10^{-5}	2000	1×10^{-1}	(C.F.) = 1×10^4 (底土に対する値) を採用
	(B)	—	$4 \times 10^3 \bar{\chi}$	8×10^{-4}	2000	2	Dounreay で得た経験 $(DR) = (C.F.) \bar{\chi}$ (C.F.) = 4×10^3 (漁網に対する値) を採用
	(C)	1	$4 \times 10^3 \bar{\chi}$	8×10^{-4}	2000	2	Submersion-model による計算 $(DR) = \frac{k\beta}{2\mu_n} (C.F.) \bar{\chi} \div 1.1 \bar{E} (C.F.) \bar{\chi}$
		0.5	$2 \times 10^3 \bar{\chi}$	4×10^{-4}	2000	1	(C.F.) = 4×10^3 を採用

〔注〕(1) 実際のエネルギーは0.5~1 MeV 以下と考えられるので、その値の大小による被曝率の変化をみるためにこの両者の値を比較した。

(2) 海水濃度(したがって放出率も)を未知数とした場合の線量率

(3) 年間における平均海水濃度を $1.8 \times 10^{-7} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ とした場合(内部被曝に関する報告書を参照)の線量率

○ 汚染飛沫による被曝トリチウムによる被曝については本文参照

2. 海岸砂の汚染係数について

各部被ばく線量試算に必要な海岸砂の汚染係数を決定するにあたっては、以下の手順に従って行った。

- 1) 東海地先フィールドデータ(海岸砂および海水の放射性核種分析結果)に基づき、汚染係数を計算する。
- 2) この時、使用する海岸水のデータとしては、海岸砂を採取した時と同時期のものとする。
- 3) 求める汚染係数の値は、できるだけ現実の実態に即して、被ばく線量を算出する等の観点より平均値とする。以上の手順に従い、求められた汚染係数を表1の下から2つめの欄に示した。
- 4) このようにして求めた汚染係数について、昭和44年の再処理施設に係わる安全審査において採用された値と比較する。

この結果、今回得られた値からは、従来採用している値を、特に変更すべき積極的理由を見出すことは、困難であるが今回の値は、従来値を概ね下回っている。従って、今回の外部被ばく線量試算にあたっては、昭和44年の再処理の安全審査に用いられた値と同じものを用いることとする。

表2に、使用する汚染係数の一覧を示す。

表1 海岸砂の汚染係数推定のためのファールド値(東海村周辺海岸)

採取年月日	海岸					水					海岸					砂					
	核					種 (pCi/ℓ)					核					種 (pCi/Kg・乾)					
	⁹⁰ Sr	⁹⁵ Zr/ ⁹⁵ Nb	¹⁰⁶ Ru	¹³⁷ Cs	¹⁴⁴ Ce	⁹⁰ Sr	⁹⁵ Zr	⁹⁵ Nb	¹⁰⁶ Ru	¹³⁷ Cs	¹⁴⁴ Ce	⁹⁰ Sr	⁹⁵ Zr	⁹⁵ Nb	¹⁰⁶ Ru	¹³⁷ Cs	¹⁴⁴ Ce				
50. 4.23	0.43±0.05	0.02±0.02	0.05±0.02	0.24±0.05	0.09±0.02	1.9±1.2	<100	<50	1.45±3.22	2.35±1.8	1.69±3.8	5.5	<60	<30	6.81	1.40	1.5	9.6	3.7		
"	0.43	0.05	0.10	0.28	0.06	0.08	0.01	0.01	0.28	0.08	0.01	2.0	1.1	<40	3.44	1.83	1.7	1.44	4.9		
"	0.43	0.06	0.10	0.27	0.05	0.05	0.01	0.01	0.27	0.05	0.01	3.2	1.2	<50	9.1	2.1	2.0	1.7	2.854	7.32	
50. 7.25	0.19	0.05	0.04	0.19	0.05	0.13	0.03	0.02	0.19	0.05	0.13	2.4	1.0	<20	4.0	2.0	2.0	1.6	1.558	6.88	
"	0.15	0.08	0.04	0.15	0.05	0.03	0.02	0.02	0.15	0.05	0.03	3.5	1.2	<50	6.5	2.2	2.1	1.7	6.67	5.59	
"	0.36	0.08	-	0.21	0.05	0.06	0.01	0.01	0.21	0.05	0.06	2.2	0.8	<30	5.7	2.1	2.6	1.9	9.0	6.2	
50. 8.28	0.26	0.05	0.04	0.31	0.05	0.07	0.02	0.02	0.31	0.05	0.07	1.3	0.8	<20	4.8	1.8	1.7	1.7	0.3	5.7	
50. 8.29	0.39	0.06	0.04	0.28	0.05	0.01	0.04	0.04	0.28	0.05	0.01	2.6	0.9	<60	4.9	2.0	1.7	1.7	7.0	4.5	
50.10.21	0.37	0.05	0.04	0.25	0.05	0.10	0.02	0.02	0.25	0.05	0.10	2.3	1.0	<50	6.39	4.74	1.6	1.7	3.0	5.5	
"	0.30	0.05	0.03	0.22	0.05	0.05	0.02	0.02	0.22	0.05	0.05	5.9	1.2	<30	3.96	5.43	2.8	2.2	2.77	5.8	
"	0.29	0.04	0.04	0.28	0.05	-	-	-	0.28	0.05	-	4.9	1.2	-	-	-	1.9	1.6	6.9	4.0	
51. 4.28																					
51. 7.22	0.47	0.07	0.03	0.01	0.28	0.05	-	-	0.01	0.28	0.05	2.8	±2.9	-	-	-	1.9	1.6	6.9	4.0	
"	0.46	0.07	0.05	0.02	0.31	0.05	0.01	0.02	0.02	0.31	0.05	4.6	3.0	1.0	4.7	4.8	3.9	2.2	2.29	5.1	
"	0.48	0.07	0.01	0.18	0.05	0.03	0.02	0.02	0.18	0.05	0.03	5.0	1.1	±8	1.22	5.1	1.7	1.6	1.12	4.5	
51. 7.23	0.40	0.05	0.02	0.01	0.19	0.04	-	-	0.02	0.19	0.04	8.1	1.4	±2.4	0.4	4.7	1.5	1.5	4.3	4.1	
"	0.44	0.06	0.05	0.02	0.05	0.04	0.03	0.03	0.05	0.02	0.05	3.7	1.2	-	0.8	3.0	1.9	1.6	-	-	
平均	0.37±0.08	0.05±0.03	0.05±0.02	0.23±0.07	0.06±0.04	3.85±1.79	(17.25) [*] (±7.27)	5.93±5.44	21.03±6.23	12.82±8.77											
ファールド値より計算した汚染係数		0.02	0.09			1.04	(8625) [*] (468.3) ^{**}	118.6	91.4	213.7											
安全審査に採用した汚染係数		±0.01	±0.07			10	500	1,000	100	1,000											

* 5.1.7.2.2以降の値を使用 ** ⁹⁵Zrと⁹⁵Nbの汚染係数の単純平均値

表2 外部被ばく線量試算に用いる海岸砂の汚染係数

核 種	汚 染 係 数
Ce , Ru	1,000
Zr , Nb	500
Cs	100
Sr	10

海岸砂の平均汚染係数は、

核 種	r			β		
	組 成 %	汚染係数	平均汚染係数	組 成 %	汚染係数	平均汚染係数
Ru	53.85	1,000	848	54.88	1,000	892
Ce	20.92	1,000		28.85	1,000	
Sr	2.0	10		2.0	10	
Zr/Nb	19.23	500		10.15	500	
Cs	4.0	100		4.08	100	

3. 漁業労働時間について

外部被ばく線量試算に用いる漁業労働時間（年間3,000時間）の妥当性について「茨城農林水産統計年報」をもとに検討した。

最新の上記年報（昭和49-50年）中にある，漁業種類別・操業・収支状況を表1に，出漁日数別経営体数及び最盛期の漁業従事者数を表2に示した。

表1の延労働人員及び延労働時間をもとに日平均労働時間を計算した。その結果を表3の右3欄（①，②，③の欄）に示した。

次に，表2から出漁日数については，茨城として経営体の規模にかかわらずにみると，年間250日以上出漁の例は，昭和48年に445件を数える以外は，47年，49年ともそれぞれ34，33件となっている。さらに，これを49年の経営体階層別の欄で，特に，動力10トン未満までの漁船についてみると，年間250日以上の出漁経営体数は，わずかに1件を数えるにすぎない。

なお，参考までに，昭和40年，41年，42年の3年度における出漁日数をみると，表4（省略）のとおりであり，40年，41年には，動力10トン未満の漁船の年間250日以上の出漁経営体数は，それぞれ7，2件であるが，42年には61件となっている。従って，年間250日以上の出漁件数は，年度によってかなり異なるが，一般にきわめて少く，平均出漁日数を年間250日と仮定することは，差し支えないと考えられる。

以上により，ここでは年間出漁日数として250日と仮定し，表3中の日平均労働時間を用い漁業者1人当たりの年間労働時間を求めた。

但し，海上と陸上の両方に従事するとした場合の年間労働日数は，365日と仮定して求めた。これらの結果を表5に示す。この表から，海上作業専業と仮定した場合の年間労働時間は，2,060～2,880時間，海上と陸上の両方に従事すると仮定した場合の年間労働時間は，1,800～2,500時間であることがわかる。

以上の検討結果より，外部被ばく線量試算に用いる年間漁業労働時間3,000時間は，妥当であると考えられる。

表2 出漁日数別経営体数及び最盛期の漁業従事者数

単位：経営体

経営体階層	計	29口 以下	30～ 89	90～ 149	150～ 199	200～ 249	250口 以上	1) 最盛期の従事者数(人)			
								計	家族	雇用者	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	
茨城											
昭. 47	1 165	2	285	393	325	126	34	6 581	1 634	4 947	
48	1 006	—	81	132	140	208	415	5 281	1 448	3 836	
49	1 130	—	348	340	303	106	33	5 208	1 529	3 679	
漁船非使用	1	3	—	—	3	—	—	—	3	3	—
無動力	2	32	—	32	—	—	—	—	32	32	—
動力1トン未満	3	273	—	160	90	23	—	—	286	285	1
1～3	4	289	—	00	106	71	21	1	476	397	79
3～5	5	372	—	45	101	175	51	—	838	640	198
5～10	6	27	—	8	10	4	5	—	65	52	13
10～20	7	27	—	—	13	11	3	—	136	39	97
20～30	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30～50	9	9	—	—	—	2	5	2	84	2	82
50～100	10	34	—	8	7	6	10	3	586	44	542
100～200	11	11	—	—	1	5	—	5	331	8	323
200～500	12	33	—	1	7	4	8	13	1 164	15	1 149
500～1,000	13	10	—	—	1	2	1	6	630	4	626
1,000トン以上	14	4	—	—	—	—	1	3	474	—	474
大型定置網	15	1	—	—	—	—	1	—	32	—	32
小型定置網	16	1	—	—	1	—	—	—	12	—	12
地びき網	17	4	—	4	—	—	—	—	59	8	51

注：1) の最盛期の従事者数は漁業最盛期において、海上作業に従事した経営体ごとの就業者を規模階層ごとに計上したものである。

表3 漁業種類別操業状況(漁業平均)

漁業種類	延労働人員(人・日)		延労働時間(時間)			日平均労働時間(時間/人・日)			
	計④	海上⑤	陸上⑥	計④	海上⑥	陸上⑦	①海上+陸上(d÷a)	②海上(e÷b)	③陸上(f÷c)
	小型底びき網 動力3t未満 " 3~5t	— 252	— 121	— 131	— 1,724	— 1,391	— 333	6.84×365=2,497	11.5×250=2,875
ぶり流し網 動力3t未満 " 3~5t	— 67	— 25	— 42	— 330	— 256	— 74	4.93×365=1,799	10.2×250=2,550	1.76×115=202
ぶり・めじ ひきなわ釣り 動力3t未満 " 3~5t	— 78	— 41	— 37	— 494	— 430	— 64	6.33×365=2,310	10.5×250=2,625	1.73×115=199
しらす船びき網 動力3t未満 " 3~5t	— 421	— 191	— 230	— 2,225	— 1,573	— 652	5.29×365=1,931	8.24×250=2,060	2.83×115=325

表-5

漁業実態		漁業		漁業		漁業		漁業		漁業		漁業		
区分	漁業	漁業	漁業	漁業	漁業	漁業	漁業	漁業	漁業	漁業	漁業	漁業	漁業	
A. 漁業従事時間	茨城県東海村周辺の海洋調査 (水産省1970年5月)をもとに 検討	茨城農林水産統計年報をもとに検討。 (資料番号 再選11-2-3号)	陸上・海上両方に に従事すると仮 定して推定	漁業種類	陸上作業専業と 仮定して推定	2,880	海上作業専業と 仮定して推定	2,550	2,500	2,880	2,500	2,880	2,500	2,880
				シラス曳網	1,712	小型底びき網	2,500	2,880	2,500	2,880				
				ソイ・メバル一本釣	1,545	ぶり疏し網	1,800	2,550	1,800	2,550				
				シラス曳網および他 種漁業(推定)	2,850 ⁽¹⁾	ぶりめじ ひきをなわ釣り	2,310	2,625	2,310	2,625				
				シラス曳網および他 種漁業(推定)	3,250 ⁽²⁾	しらす船じき網	1,930	2,060	1,930	2,060				
				シラス曳網	1,080									
				ソイ・メバル一本釣	1,130									
				シラス曳網	250	陸上作業専業と 仮定して推定し た漁業従事時間								
				ソイ・メバル一本釣	60	小型底びき網	635							
				シラス曳網	1,330	ぶり疏し網	440							
ソイ・メバル一本釣	1,190	ぶりめじひきをなわ釣り	433											
シラス曳網	382	しらす船じき網	708											
ソイ・メバル一本釣	355													
シラス曳網および他 種漁業(推定)	637 ⁽⁸⁾													
B. 漁具操作時間	出漁中の 漁具操作													
B. 作業時間	出漁以外の 作業													
	① + ②													
A-B 漁具が船上に積載され ている時間														

(1) $1,712 \text{ 時間} \times \frac{1}{0.6} (\text{シラス漁業の占める割合}) = 2,850 \text{ 時間}$

(2) $\frac{1,400 \text{ 時間}}{108 \text{ 日}} (1 \text{ 日平均作業時間}) \times 250 \text{ 日} (\text{最高操業日数}) = 3,250 \text{ 時間}$

(3) $382 \text{ 時間} \times \frac{1}{0.6} = 637 \text{ 時間}$

4. 被曝線量計算に用いる平均エネルギーについて

外部被曝線量の計算に用いる β 線および γ 線の平均エネルギーは、次のようにして算出した。

i) β 線の平均エネルギー \bar{E}_β は次式により算出した。

$$\bar{E}_\beta = \frac{\sum_i E_{\beta i} f_i X_i}{\sum_i X_i} \quad (\text{MeV/dis}) \quad (1)$$

ただし, $E_{\beta i}$ = 核種 i の β 線の平均エネルギー (MeV/dis)

f_i = 核種 i の β 線の放出率

X_i = 線源中の核種 i の存在割合

である。

ii) γ 線の平均エネルギー \bar{E}_γ は、次式により算出した。

$$\bar{E}_\gamma = \frac{\sum_i \left(\frac{\sum_j E_{ij} f_{ij}}{\sum_j f_{ij}} \right) X_i}{\sum_i X_i} \quad (\text{MeV/dis}) \quad (2)$$

ただし,

E_{ij} = 核種 i の j 番目の γ 線のエネルギー (MeV/dis)

f_{ij} = 核種 i の j 番目の γ 線の放出率 (%)

X_i = 線源中の核種 i の存在割合

である。

また、線源中の β 線の吸収係数を算定するために必要な β 線の最大エネルギーの平均値は、(2)式と同様にして算出した。

以上の算出に用いた核種ごとの β 線および γ 線のエネルギーならびに放出率は、付表の値によった。

付表 - 1. β 線の平均エネルギー

核種	平均エネルギー (MeV/dis)	放出率
^{103}Ru	0.065	1
$^{106}\text{Ru}-^{106}\text{Rh}$	0.719	1
$^{144}\text{Ce}-^{144}\text{Pr}$	0.654	1
$^{137}\text{Cs}-^{137\text{m}}\text{Ba}$	0.1884	1
^{95}Zr	0.119	1
^{95}Nb	0.0435	1
^{141}Ce	0.1459	1
$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$	0.566	2
^{89}Sr	0.573	1

付表-2 γ 線のエネルギー

核種	エネルギー (MeV/dis)	放出率 (%)	核種	エネルギー (MeV/dis)	放出率 (%)
^{103}Ru	0.0396	0.056	^{144}Ce ^{144}Pr	0.0336	0.22
	0.053	0.34		0.0409	0.39
	0.295	0.21		0.0534	0.14
	0.444	0.36		0.0801	1.54
	0.497	89.0		0.09995	0.038
	0.557	0.80		0.1335	10.8
	0.610	5.4		0.6965	1.51
^{106}Ru ^{106}Rh	0.428	0.06		1.489	0.29
	0.435	0.05		2.186	0.74
	0.512	20.6	^{137}Cs	0.662	84.6
	0.616	0.71	^{95}Zr	0.235	0.46
	0.622	9.94		0.724	4.35
	0.874	0.41		0.757	5.43
	1.050	1.48	^{95}Nb	0.766	99.8
	1.062	0.026	^{141}Ce	0.145	49.0
	1.128	0.39			
	1.194	0.053			
	1.496	0.025			
	1.562	0.153			
	1.766	0.024			
	1.796	0.025			
	1.989	0.021			
	2.113	0.034			
2.367	0.023				
2.406	0.014				

付表-3. β 線の最大エネルギー

核種	最大エネルギー (MeV/dis)	放出率 (%)	核種	最大エネルギー (MeV/dis)	放出率 (%)
^{103}Ru	0.102	6.2	^{141}Ce	0.438	70.6
	0.216	89		0.580	29.4
	0.457	0.21	^{89}Sr	0.554	0.015
	0.712	4		1.463	99.99
^{106}Ru — ^{106}Rh	0.0394	100	^{90}Sr	0.546	100
	0.64	0.037	— ^{90}Y	0.513	0.016
	0.92	0.085		2.274	99.98
	1.04	0.021	^{95}Zr	0.364	54.3
	1.10	0.013	— $^{95\text{m}}\text{Nb}$	0.397	43.5
	1.23	0.032		0.886	1.8
	1.26	0.031		1.121	0.4
	1.54	0.41	^{95}Nb	0.1597	99.96
	1.83	0.053		0.9225	0.04
	1.98	1.72	^{137}Cs	0.512	94.1
	2.41	10.5	— $^{137\text{m}}\text{Ba}$	1.174	5.9
	3.03	8.4			
	3.54	78.8			
^{144}Ce — ^{144}Pr	0.1821	19.4			
	0.2156	0.28			
	0.2355	4.2			
	0.3156	76.3			
	0.810	1.03			
	2.30	1.22			
	2.996	97.75			

○ 海岸砂からの被曝 (r)

	組成×濃縮係数	組成×濃縮係数×1崩壊当り平均エネルギー
¹⁰³ Ru	14.0×1000	14.0×1000×0.482
¹⁰⁶ Ru- ¹⁰⁶ Rh	126.0×1000	126.0×1000×0.101
¹⁴¹ Ce	21×1000	21×1000×0.071
¹⁴⁴ Ce- ¹⁴⁴ Pr	523×1000	523×1000×0.024
⁸⁹ Sr	17×10	17×10×0
⁹⁰ Sr	35×10	35×10×0
⁹⁵ Zr	167×500	167×500×0.727
⁹⁵ Nb	333×500	333×500×0.764
¹³⁷ Cs	104×100	104×100×0.560
	$\Sigma=220492$	$\Sigma=40251.75$

$$\begin{aligned} \text{平均エネルギー} &= \frac{40251.75}{220492} \\ &= \underline{\underline{0.183 \text{ MeV/dis}}} \end{aligned}$$

○ 漁網、船体からの被曝 (r)

$$\text{r線の平均エネルギー} = \frac{\text{単位時間に発生するr線エネルギーの和}}{\text{単位時間に出現する崩壊数の和}}$$

	組 成	組成×1崩壊当り平均エネルギー
¹⁰³ Ru	14.0 Ci	14.0×0.482
¹⁰⁶ Ru- ¹⁰⁶ Rh	126.0	126.0×0.101
¹⁴¹ Ce	21	21×0.071
¹⁴⁴ Ce- ¹⁴⁴ Pr	523	523×0.024
⁸⁹ Sr	1.7	1.7×0
⁹⁰ Sr	3.5	3.5×0
⁹⁵ Zr	16.7	16.7×0.727
⁹⁵ Nb	33.3	33.3×0.764
¹³⁷ Cs	10.4	10.4×0.560

$$\begin{aligned} \text{平均エネルギー} &= \frac{64.284}{260} \\ &= \underline{\underline{0.247 \text{ MeV/dis}}} \end{aligned}$$

○ 海岸砂からの被曝 (β線)

¹⁰³ Ru	143×1000	143×1000×0.228
¹⁰⁶ Ru- ¹⁰⁶ Rh	128.4×1000	128.4×1000×1.69
¹⁴¹ Ce	28×1000	28×1000×0.48
¹⁴⁴ Ce- ¹⁴⁴ Pr	72.2×1000	72.2×1000×1.626
⁸⁹ Sr	1.7×10	1.7×10×1.463
⁹⁰ Sr(⁹⁰ Y)	3.5×10	3.5×10×1.412×2
⁹⁵ Zr(^{95m} Nb)	8.8×500	8.8×500×0.391
⁹⁵ Nb	17.6×500	17.6×500×0.16
¹³⁷ Cs(^{137m} Ba)	10.6×100	10.6×100×0.551
	Σ=232012	Σ=348336.5

$$\beta \text{ (平均) 最大エネルギー} = \frac{348336.5}{232012}$$

$$= \underline{1.501 \text{ MeV}}$$

○ 漁網, 船体片からの被曝 (β線)

¹⁰³ Ru	143 Ci	143×0.228
¹⁰⁶ Ru- ¹⁰⁶ Rh	128.4	128.4×1.69
¹⁴¹ Ce	28	28×0.48
¹⁴⁴ Ce- ¹⁴⁴ Pr	72.2	72.2×1.626
⁸⁹ Sr	1.7	1.7×1.463
⁹⁰ Sr(⁹⁰ Y)	3.5	3.5×1.41×2
⁹⁵ Zr(^{95m} Nb)	8.8	8.8×0.391
⁹⁵ Nb	17.6	17.6×0.16
¹³⁷ Cs(^{137m} Ba)	10.6	10.6×0.551
	Σ=260	Σ=363.452

$$\beta \text{ (平均) 最大エネルギー} = 1.40 \text{ MeV/dis}$$

5. 外部被曝線量について

昭和44年の再処理施設の安全審査との変更点

- ① 海水中放射性物質濃度の計算については、現地海域の拡散流動状況に関する最近の調査結果を反映させることとする（廃液の鉛直混合層の厚さ、流向頻度）。
- ② 従来想定していた被曝の形態について、現地の実状を反映させ、漁網からの被曝のうち、やや大型の漁網が放出口近辺の海域において使用されないことを考慮して、これに起因する被曝線量の算定は除外することとした。
- ③ 線量計算に用いる放射線のエネルギーについては、最新のデータを用いることとする。
- ④ 海岸砂、漁網および船体の汚染係数については、最近の知見を調査したが、従来の採用値を特に、変更すべき情報は得られなかったので従来通りとした。

外部被曝線量試算の前提

前提	海岸の砂からの被曝	漁網からの被曝	船体からの被曝
実態	東海村周辺海岸における海浜利用としては、放出口より南南西方向の阿字ヶ浦、北方向の久慈等における海水浴利用がある。	東海村地先海域における漁業で一般に使用される10トン前後の小型漁船では最大約300～360Kg（湿重量）の漁網が用いられている。	放出口周辺海域は、漁船等の航行する海域である。
想定する被曝の形態	<ul style="list-style-type: none"> ・海岸の砂に接した身体が、海岸の砂からのγ線により照射される（全身被曝） ・海岸の砂に接した身体が、海岸の砂からのβ線により照射される（皮膚被曝） 	<ul style="list-style-type: none"> ・船上に滞在する身体が、船上に積載した漁網からのγ線により照射される（全身被曝） ・網操作にともなって網からのβ線により照射される（手被曝） 	<ul style="list-style-type: none"> ・船上に滞在する身体が、船体表面からのγ線により照射される（全身被曝） ・船上に滞在する身体が船体表面からのβ線により照射される（皮膚被曝）
被曝位置の仮定	放出口より南南西方向5.5Km	放出口付近1Km円内	放出口付近1Km円内
線源強度の計算	海水中放射能濃度に汚染係数を乗じて算出		
汚染係数の仮定	ストロンチウム 10 ルテニウム 1,000 セシウム 100 セリウム 1,000 ジルコニウム・ニオブ 500	すべての核種について 4,000 （英国の値を採用）	すべての核種について $10 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ $10 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ （俊鷗丸の測定値参照）

外部被曝線量試算の前提（続き）

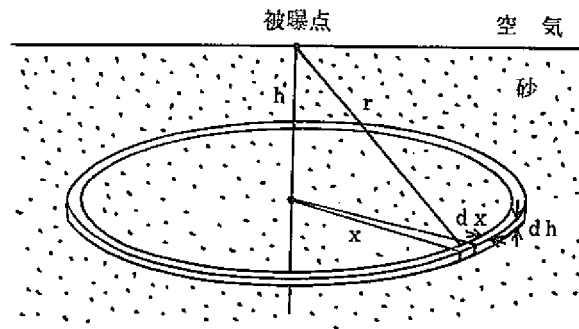
前提	被曝の種類		トリチウムによる被曝	
	海面からの被曝	海水中での被曝	漁網からの被曝	海水中での被曝
実 態	放出口周辺海域は漁船等の航行する海域である。	東海村周辺海岸における沿岸海域利用としては、放出口より南南西方向の阿字ヶ浦、北方向の久慈等における海水浴利用がある。	漁網からの被曝に同じ。	海水中での被曝に同じ。
想定する被曝の型 態	<ul style="list-style-type: none"> • 船上にある身体が海水からのγ線により照射される。（全身被曝） • 船上にある身体が海水からのβ線により照射される。（皮膚被曝） 	<ul style="list-style-type: none"> • 海水中にある身体が海水からのγ線により照射される（全身被曝） • 海水中にある身体が海水からのβ線により照射される（皮膚被曝） 	• 漁網に浸漬した手がトリチウムの β 線により照射される。（手の被曝）	• 海水に浸漬した全身がトリチウムの β 線により照射される。（全身被曝）
被曝位置の仮定	放出口付近1 Km円内。	放出口より南南西方向5.5 Km。	放出口付近1 Km円内。	放出口より南南西方向5.5 Km。
線源強度の計算	海水中放射能濃度を用いる	海水中放射能濃度を用いる	海水中放射能濃度に汚染係数を乗じて算出。	海水中放射能濃度を用いる。
汚染係数の仮定			トリチウム 1	

6. 外部被曝線量評価説明図

基本的には，点減衰核の積分による。

6-1 γ線被曝

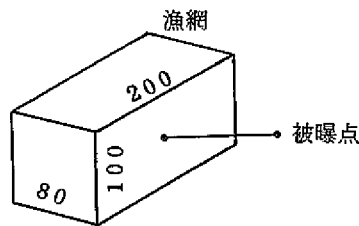
a 海岸砂



$$\text{計算式: } 2.14 \frac{\mu_{a,t}}{\rho t} \bar{E} \chi \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{2\pi x dx dh e^{-\mu_s \rho s r}}{4\pi r^2} (1 + a\mu_s \rho s r e^{b\mu_s \rho s r})$$

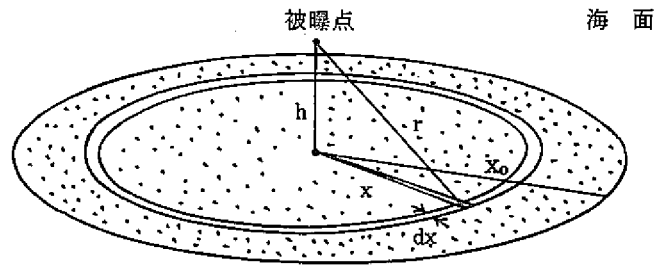
$$\text{計算結果: } 1.07 \frac{\mu_{a,t}}{\rho t \rho s m \mu_s} \bar{E} \chi \left\{ 1 + \frac{a}{(1-b)^2} \right\} \text{ rad/hr}$$

b 漁網



$$\text{計算結果: } \frac{K \cdot \chi \cdot 3.7 \times 10^4 \cdot F \cdot BE_2 (\mu_{ar})}{2 \mu_{net}}$$

C 船 体

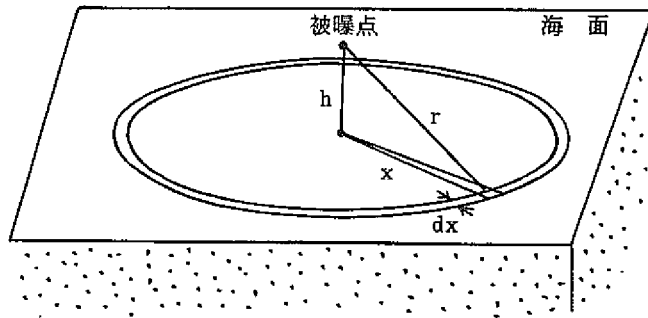


計算式： $2.14 \frac{\mu_a, t}{\rho t} \bar{E} \chi \int_0^{x_0} \frac{e^{-\mu_a r}}{4 \pi r^2} 2 \pi x dx (1 + a \mu_a r e^{b \mu_a r})$

計算結果： $1.07 \frac{\mu_a, t}{\rho t} \bar{E} \chi [E_1(\mu_a h) - E_1(\mu_a \sqrt{x_0^2 + h^2})$

$+ \frac{a}{1-b} \{ e^{-(1-b)\mu_a h} - e^{-(1-b)\mu_a \sqrt{x_0^2 + h^2}} \}] \text{ rad/hr}$

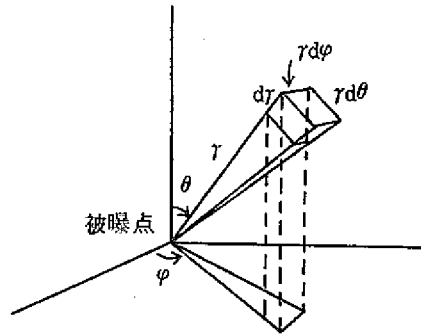
d 海 面



計算式： $2.14 \frac{\mu_a, t}{\rho t} \bar{E} \frac{\chi}{2 \mu_{a, w}} \int_0^{\infty} \frac{e^{-\mu_a r}}{4 \pi r^2} 2 \pi x dx (1 + a \mu_a r e^{b \mu_a r})$

計算結果： $0.54 \frac{\mu_a, t}{\rho t \mu_{a, w}} \bar{E} \chi [E_1(\mu_a h) + \frac{a}{1-b} e^{-(1-b)\mu_a h}] \text{ rad/hr}$

e 海水中

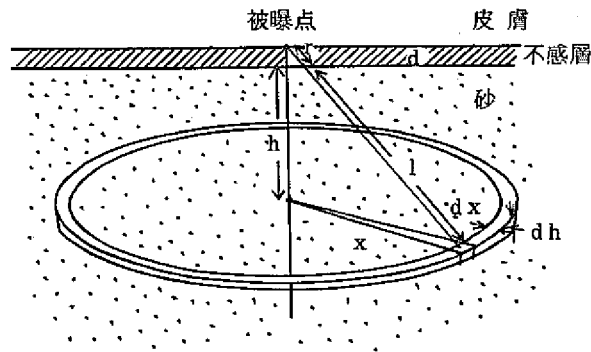


$$\text{計算式: } 2.14 \frac{\mu_{a,t}}{\rho_t} \bar{E} \chi \int_0^\infty \int_0^\pi \int_0^{2\pi} r^2 \sin\theta d\zeta d\theta dr \frac{e^{-\mu_w r}}{4\pi r^2} \times (1 + a\mu_w r e^{b\mu_w r})$$

$$\text{計算結果: } 2.14 \frac{\mu_{a,t}}{\rho_t \mu_w} \bar{E} \chi \left\{ 1 + \frac{a}{(1-b)^2} \right\} \text{ rad/hr}$$

6-2 β線被曝

a 海岸砂



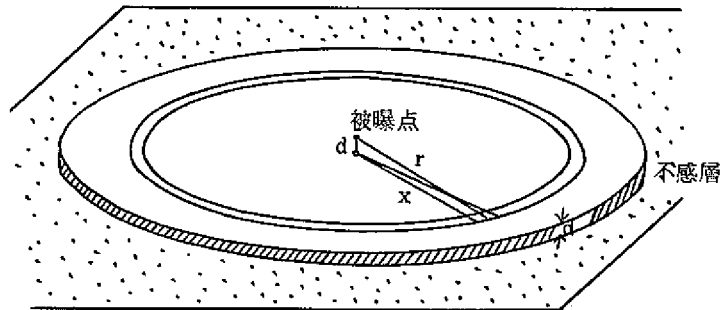
$$\text{計算式: } 2.14 \frac{\mu_t}{\rho_t} \bar{E} \chi \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{e^{-m\mu_s \rho_s l} e^{-\mu_t r}}{4\pi(l+r)^2} 2\pi x dx dh$$

$$\text{計算結果: } 1.07 \frac{\mu_t}{\rho_t \rho_{sm} \mu_s} \bar{E} \chi \int_0^\infty E_1(y) dy \text{ rad/hr}$$

b 漁網

海岸砂に同じ

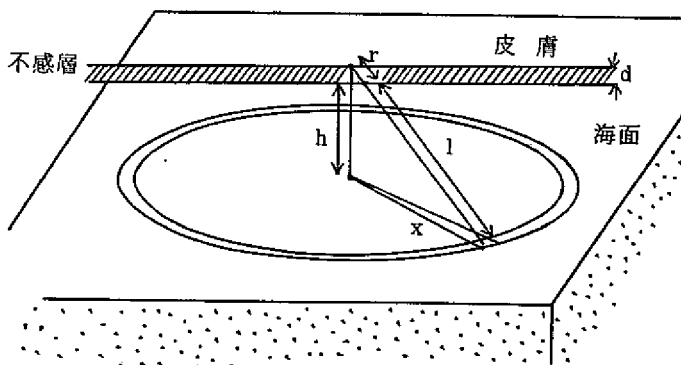
c 船 体



$$\text{計算式: } 2.14 \frac{\mu}{\rho} \bar{E} \frac{\chi}{2\mu_w} \int_0^\infty \frac{e^{-\mu_a l} e^{-\mu_i r}}{4\pi(l+r)^2} 2\pi x dx$$

$$\text{計算結果: } 1.07 \frac{\mu_i}{\rho_i} \bar{E} \chi E_1(d\mu_i) \text{ rad/hr}$$

d 海 面



$$\text{計算式: } 2.14 \frac{\mu_i}{\rho_i} \bar{E} \frac{\chi}{2\mu_w} \int_0^\infty \frac{e^{-\mu_a l} e^{-\mu_i r}}{4\pi(l+r)^2} 2\pi x dx$$

$$\text{計算結果: } 0.54 \frac{\mu_i}{\rho_i \mu_w} \bar{E} \chi E_1(\mu_a h + d\mu_i) \text{ rad/hr}$$

e 海 水 中

図は、海岸砂と同じ

$$\text{計算式: } 2.14 \frac{\mu_i}{\rho_i} \bar{E} \chi \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{e^{-m\mu_s \rho_s l} e^{-\mu_i r}}{4\pi(l+r)^2} 2\pi x dx dh$$

$$\text{計算結果: } 1.07 \frac{\mu_i}{\rho_i \rho_w m \mu_s} \bar{E} \chi \int_0^\infty E_1(y) dy \text{ rad/hr}$$

Ⅱ. 核種別の外部被曝線量計算

表-1 核種ごとのパラメータ

	^{103}Ru	$^{106}\text{Ru}/^{106}\text{Rh}$	$^{144}\text{Ce}/^{144}\text{Pr}$	^{141}Ce	^{89}Sr	$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	$^{95}\text{Zr}/^{95m}\text{Nb}$	^{95}Nb	$^{137}\text{Cs}/^{137m}\text{Ba}$
$E\gamma$ (MeV)	0.482	0.101	0.024	0.071			0.727	0.764	0.560
$\mu_{a,w}$ (cm^{-1})	3.3×10^{-2}	2.55×10^{-2}	2.9×10^{-1}	2.8×10^{-2}			3.2×10^{-2}	3.2×10^{-2}	3.25×10^{-2}
$\mu_{a,t}$ (cm^{-1})	3.3×10^{-2}	2.55×10^{-2}	2.9×10^{-1}	2.8×10^{-2}			3.2×10^{-2}	3.2×10^{-2}	3.25×10^{-2}
μ_a (cm^{-1})	1.15×10^{-4}	2×10^{-4}	6.6×10^{-4}	2.25×10^{-4}			9.7×10^{-5}	9.5×10^{-5}	1.09×10^{-4}
$m\mu_s$ (cm^2/g)	8.6×10^{-2}	1.7×10^{-1}	2.0	2.3×10^{-1}			7.1×10^{-2}	7.0×10^{-2}	8.0×10^{-2}
μ_{net} (cm^{-1})	2.25×10^{-2}	3.83×10^{-2}	1.19×10^{-1}	4.37×10^{-2}			1.85×10^{-2}	1.8×10^{-2}	2.07×10^{-2}
μ_w (cm^{-1})	9.8×10^{-2}	1.7×10^{-1}	5.3×10^{-1}	1.94×10^{-1}			8.2×10^{-2}	8.0×10^{-2}	9.2×10^{-2}
H_{20}^a / a_{A1}	1.5/1.3	50/24	21.8/4.5	7.1/2.8			1.25/1.11	1.24/1.09	1.4/1.21
H_{20}^b / b_{A1}	0.18/0.114	0.205/0.195	0.22/0.27	0.213/0.213			0.135/0.092	0.128/0.09	0.166/0.106
μ_{en} (cm^2/g)	0.03	0.024	0.28	0.027			0.0294	0.029	0.030
$\bar{E}\beta$ (MeV)	0.065	0.719	0.654	0.146	0.573	0.566	0.119	0.0435	0.188
E_0 (MeV)	0.228	1.69	1.626	0.480	1.463	1.41	0.391	0.160	0.551
μ_t (cm^2/g)	178.4	9.34	9.85	56.57	11.43	12.04	76.86	324.73	46.17
μ_w (cm^2/g)	178.4	9.34	9.85	56.57	11.43	12.04	76.86	324.73	46.17
μ_a (cm^2/g)	161.25	7.91	8.36	49.86	9.73	10.26	68.20	297.39	40.51
$m\mu_s$ (cm^2/g)	140.8	8.03	8.48	48.56	9.87	10.40	65.11	233.64	39.87
μ_{net} (cm^{-1})	178.4	9.34	9.85	56.57	11.43	12.04	76.86	324.73	46.17

(i) γ 線について: $\bar{E}\gamma$ エネルギー (MeV); $\mu_{a,w}$ 水の真吸収係数 (cm^{-1}); $\mu_{a,t}$ 組織の真吸収係数 (cm^{-1}); μ_a 空気全吸収係数 (cm^{-1}); $m\mu_s$ 砂の全吸収係数 (cm^2/g); μ_{net} 漁網の真吸収係数 (cm^{-1}); μ_w 水の全吸収係数 (cm^{-1})

(ii) β 線について: $\bar{E}\beta$ 平均エネルギー (MeV); E_0 最大エネルギー (MeV); μ_t 組織のエネルギー吸収係数 (cm^2/g); μ_w 水のエネルギー吸収係数 (cm^2/g); μ_a 空気エネルギー吸収係数 (cm^2/g); $m\mu_s$ 砂のエネルギー吸収係数 (cm^2/g); μ_{net} 漁網のエネルギー吸収係数 (cm^2/g)

表 - 2 核種別の汚染係数

	Ru	Ce	Sr	Zr/Nb	Cs
海岸砂	1,000	1,000	10	500	100
漁網	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
船体	10	10	10	10	10
海水	1	1	1	1	1

表 - 3 年間被曝時間

Mode	時間 (hr)
海浜作業	500
漁網操作	1,000 (β :2,000)
船上作業	海面: 2,000 船体: 3,000
海水中	100

《 計算条件 》

核種毎の放出量は、1 Ci/year すなわち 2.777×10^{-3} Ci/day (3.214×10^{-8} Ci/sec) とする。

- 阿字ヶ浦を評価地点とすれば

海岸地点の海水中放射能濃度は、

$$C = 1.496 \times 10^{-17} \text{ Ci/cm}^3$$

- 放出地点で直径 1 Km 円内の平均濃度は

$$C = 8.896 \times 10^{-17} \text{ Ci/cm}^3$$

A 海岸砂からの被曝

1. γ 線

$$D(\text{rem/hr}) = 1.07 \frac{\mu_{a,t} \bar{E}_\gamma \chi}{\rho_t \rho_s m \mu_s} \left\{ 1 + \frac{a}{(1-b)^2} \right\}$$

$$\rho_t = 1 \text{ g/cm}^3, \quad \rho_s = 1.7 \text{ g/cm}^3$$

(a) ^{103}Ru

$$\bar{E}_\gamma = 0.482 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.033 \text{ cm}^{-1}$$

$$m\mu_s = 0.086 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$a = 1.3, \quad b = 0.114$$

$$\chi = 1.496 \times 10^{-11} \times 1,000 = 1.496 \times 10^{-8} \text{ } \mu\text{Ci/g}$$

$$D = 4.626 \times 10^{-9} \text{ rem/hr}$$

$$= 2.313 \times 10^{-6} \text{ rem/year Ci}$$

(b) $^{106}\text{Ru} - ^{106}\text{Rh}$

$$\bar{E}_\gamma = 0.101 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.0255 \text{ cm}^{-1}$$

$$m\mu_s = 0.17 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$a = 2.4, \quad b = 0.195$$

$$\chi = 1.496 \times 10^{-8} \text{ } \mu\text{Ci/g}$$

$$D = 6.710 \times 10^{-10} \text{ rem/hr}$$

$$= 3.355 \times 10^{-7} \text{ rem/year Ci}$$

(c) $^{144}\text{Ce} - ^{144}\text{Pr}$

$$\bar{E}_\gamma = 0.024 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.29 \text{ cm}^{-1}$$

$$m\mu_s = 2.0 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$a = 4.5, \quad b = 0.27$$

$$\chi = 1.496 \times 10^{-8} \text{ } \mu\text{Ci/g}$$

$$D = 3.095 \times 10^{-10} \text{ rem/hr}$$

$$= 1.547 \times 10^{-7} \text{ rem/year Ci}$$

(d) ^{141}Ce

$$\bar{E}_\gamma = 0.071 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.028 \text{ cm}^{-1}$$

$$m\mu_s = 0.23 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$a = 2.8, \quad b = 0.213$$

$$\chi = 1.496 \times 10^{-8} \text{ } \mu\text{Ci/g}$$

$$D = 4.493 \times 10^{-10} \text{ rem/hr}$$

$$= 2.25 \times 10^{-7} \text{ rem/year Ci}$$

(e) $^{95}\text{Zr} - ^{95\text{m}}\text{Nb}$

$$\bar{E}_\gamma = 0.727 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.032 \text{ cm}^{-1}$$

$$m\mu_s = 0.071 \text{ cm}^{-1}$$

$$a = 1.11, \quad b = 0.092$$

$$\chi = 1.496 \times 10^{-11} \times 500 = 7.48 \times 10^{-9} \text{ } \mu\text{Ci/g}$$

$$D = 3.619 \times 10^{-9} \text{ rem/hr}$$

$$= 1.81 \times 10^{-6} \text{ rem/year Ci}$$

(f) ^{95}Nb

$$\bar{E}_\gamma = 0.764 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.032 \text{ cm}^{-1}$$

$$m\mu_s = 0.07 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$a = 1.09, \quad b = 0.09$$

$$\chi = 7.48 \times 10^{-9} \text{ } \mu\text{Ci/g}$$

$$D = 3.809 \times 10^{-9} \text{ rem/hr}$$

$$= 1.904 \times 10^{-6} \text{ rem/year Ci}$$

(g) $^{137}\text{Cs} - ^{137\text{m}}\text{Ba}$

$$\bar{E}_\gamma = 0.560 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.0325 \text{ cm}^{-1}$$

$$m\mu_s = 0.08 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$a = 1.21, \quad b = 0.106$$

$$\chi = 1.496 \times 10^{-11} \times 100 = 1.496 \times 10^{-9} \text{ } \mu\text{Ci/g}$$

$$D = 5.385 \times 10^{-10} \text{ rem/hr}$$

$$= 2.693 \times 10^{-7} \text{ rem/year Ci}$$

2. β 線

$$D(\text{rad/hr}) = 1.07 \frac{\mu t \bar{E}_\beta \chi}{\rho t \rho_{sm} \mu s} \int_{d\mu t}^{\infty} E_1(y) dy \quad \int_{d\mu t}^{\infty} E_1(y) dy = E_2(d\mu t)$$

(a) ^{103}Ru

$$\begin{aligned} \bar{E}_\beta &= 0.065 \text{ MeV} \\ \mu t &= 178.4 \text{ cm}^2/\text{g} \\ m\mu s &= 140.8 \text{ cm}^2/\text{g} \\ d\mu t &= 7 \times 10^{-3} \times 178.4 = 1.25 \\ E_2(1.25) &= 0.104 \\ \chi &= 1.496 \times 10^{-8} \text{ } \mu\text{Ci/g} \\ D &= 8.065 \times 10^{-11} \text{ rad/hr} \\ &= 4.032 \times 10^{-8} \text{ rad/year Ci} \end{aligned}$$

(b) $^{106}\text{Ru} - ^{106}\text{Rh}$

$$\begin{aligned} \bar{E}_\beta &= 0.719 \text{ MeV} \\ \mu t &= 9.34 \text{ cm}^2/\text{g} \\ m\mu s &= 8.03 \text{ cm}^2/\text{g} \\ d\mu t &= 0.065 \\ E_2(0.065) &= 0.793 \\ \chi &= 6.244 \times 10^{-9} \text{ rad/hr} \\ &= 3.122 \times 10^{-6} \text{ rad/year Ci} \end{aligned}$$

(c) $^{144}\text{Ce} - ^{144}\text{Pr}$

$$\begin{aligned} \bar{E}_\beta &= 0.654 \text{ MeV} \\ \mu t &= 9.85 \text{ cm}^2/\text{g} \\ m\mu s &= 8.48 \text{ cm}^2/\text{g} \\ d\mu t &= 0.069 \\ E_2(0.069) &= 0.782 \\ \chi &= 1.496 \times 10^{-8} \text{ } \mu\text{Ci/g} \\ D &= 5.594 \times 10^{-9} \text{ rad/hr} \\ &= 2.797 \times 10^{-6} \text{ rad/year Ci} \end{aligned}$$

(d) ^{141}Ce

$$\bar{E}_\beta = 0.146 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 56.57 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$m\mu s = 48.56 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$d\mu t = 0.396$$

$$E_2(0.396) = 0.392$$

$$\chi = 1.496 \times 10^{-8} \text{ } \mu\text{Ci}/\text{g}$$

$$D = 6.278 \times 10^{-10} \text{ rad/hr}$$

$$= 3.139 \times 10^{-7} \text{ rad/year Ci}$$

(e) ^{89}Sr

$$\bar{E}_\beta = 0.573 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 11.43 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$m\mu s = 9.87 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$d\mu t = 0.08$$

$$E_2(0.08) = 0.761$$

$$\chi = 1.496 \times 10^{-11} \times 10 = 1.496 \times 10^{-10} \text{ } \mu\text{Ci}/\text{g}$$

$$D = 4.755 \times 10^{-11} \text{ rad/hr}$$

$$= 2.377 \times 10^{-8} \text{ rad/year Ci}$$

(f) $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$

$$\bar{E}_\beta = 0.566 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 12.04 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$m\mu s = 10.40 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$d\mu t = 0.084$$

$$E_2(0.084) = 0.751$$

$$\chi = 1.496 \times 10^{-10} \text{ } \mu\text{Ci}/\text{g}$$

$$D = 4.634 \times 10^{-11} \text{ rad/hr}$$

$$= 2.317 \times 10^{-8} \text{ rad/year Ci}$$

(g) $^{95}\text{Zr} - ^{95\text{m}}\text{Nb}$

$$\bar{E}_\beta = 0.119 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 76.86 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$m\mu s = 65.11 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$d\mu t = 0.538$$

$$E_2(0.538) = 0.307$$

$$\chi = 7.48 \times 10^{-9} \mu\text{Ci/g}$$

$$D = 2.03 \times 10^{-10} \text{ rad/hr}$$

$$= 1.015 \times 10^{-7} \text{ rad/year Ci}$$

(h) ^{95}Nb

$$\bar{E}_\beta = 0.0435 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 324.73 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$m\mu s = 233.64 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$d\mu t = 2.273$$

$$E_2(2.273) = 2.64 \times 10^{-2}$$

$$\chi = 7.48 \times 10^{-9} \mu\text{Ci/g}$$

$$D = 7.514 \times 10^{-12} \text{ rad/hr}$$

$$= 3.757 \times 10^{-9} \text{ rad/year Ci}$$

(i) $^{137}\text{Cs} - ^{137\text{m}}\text{Ba}$

$$\bar{E}_\beta = 0.188 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 46.17 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$m\mu s = 39.87 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$d\mu t = 0.323$$

$$E_2(0.323) = 0.449$$

$$\chi = 1.496 \times 10^{-9} \mu\text{Ci/g}$$

$$D = 9.204 \times 10^{-11} \text{ rad/hr}$$

$$= 4.602 \times 10^{-8} \text{ rad/year Ci}$$

B 漁網からの被曝

1. γ 線

$$D(\text{rem/hr}) = \frac{K \cdot \chi \cdot 3.7 \times 10^4 \cdot F \cdot B \cdot E_2(\mu\text{ar})}{2 \mu_{\text{net}}}$$

$$K = \bar{E}_\gamma \times \mu_{\text{en}} \times 6.628 \times 10^{-5}$$

$$F = 0.12$$

$$r = 100 \text{ cm}$$

(a) ^{103}Ru

$$\bar{E}_\gamma = 0.482 \text{ MeV}$$

$$\mu_a = 1.15 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_{\text{net}} = 2.25 \times 10^{-2} \text{ cm}^{-1}$$

$$K = 9.64 \times 10^{-7}$$

$$B = 4.3$$

$$\mu_{\text{ar}} = 0.0115$$

$$E_2(\mu_{\text{ar}}) = 0.944$$

$$\chi = 8.896 \times 10^{-11} \times 4,000 \times \frac{0.36}{1.6} = 8.006 \times 10^{-8} \mu\text{Ci/g}$$

$$D = 3.25 \times 10^{-8} \text{ rem/hr}$$

$$= 3.25 \times 10^{-5} \text{ rem/year Ci}$$

(b) $^{106}\text{Ru} - ^{106}\text{Rh}$

$$\bar{E}_\gamma = 0.101 \text{ MeV}$$

$$\mu_a = 2 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_{\text{net}} = 0.0383 \text{ cm}^{-1}$$

$$K = 1.607 \times 10^{-7}$$

$$B = 15.2$$

$$\mu_{\text{ar}} = 0.02$$

$$E_2(0.02) = 0.913$$

$$\chi = 8.006 \times 10^{-8} \mu\text{Ci/g}$$

$$D = 1.03 \times 10^{-8} \text{ rem/hr}$$

$$= 1.03 \times 10^{-6} \text{ rem/year Ci}$$

(c) $^{144}\text{Ce} - ^{144}\text{Pr}$

$$\bar{E}_\gamma = 0.024 \text{ MeV}$$

$$\mu_a = 6.6 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_{\text{net}} = 0.119 \text{ cm}^{-1}$$

$$K = 4.454 \times 10^{-7}$$

$$B = 66.24$$

$$\mu_{\text{ar}} = 0.066$$

$$E_2(0.066) = 0.793$$

$$\chi = 8.006 \times 10^{-8} \text{ } \mu\text{Ci/g}$$

$$D = 3.49 \times 10^{-8} \text{ rad/hr}$$

$$= 3.49 \times 10^{-5} \text{ rad/year Ci}$$

(d) ^{141}Ce

$$\bar{E}_\gamma = 0.071 \text{ MeV}$$

$$\mu_a = 2.25 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_{\text{net}} = 0.0437 \text{ cm}^{-1}$$

$$K = 1.27 \times 10^{-7}$$

$$B = 21.38$$

$$\mu_{\text{ar}} = 0.0225$$

$$\chi = 8.006 \times 10^{-8} \text{ } \mu\text{Ci/g}$$

$$D = 9.99 \times 10^{-9} \text{ rad/hr}$$

$$= 9.99 \times 10^{-6} \text{ rad/year Ci}$$

(e) $^{95}\text{Zr} - ^{95\text{m}}\text{Nb}$

$$\bar{E}_\gamma = 0.727 \text{ MeV}$$

$$\mu_a = 9.7 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_{\text{net}} = 0.0185 \text{ cm}^{-1}$$

$$K = 1.417 \times 10^{-6}$$

$$B = 3.44$$

$$\mu_{\text{ar}} = 0.0097$$

$$E_2(0.0097) = 0.955$$

$$\chi = 8.006 \times 10^{-8} \text{ } \mu\text{Ci/g}$$

$$D = 4.47 \times 10^{-8} \text{ rad/hr}$$

$$= 4.47 \times 10^{-5} \text{ rad/year Ci}$$

(f) ^{95}Nb

$$\bar{E}_\gamma = 0.764 \text{ MeV}$$

$$\mu_a = 9.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_{\text{net}} = 0.018 \text{ cm}^{-1}$$

$$K = 1.468 \times 10^{-6}$$

$$B = 3.37$$

$$\mu_{\text{ar}} = 0.0095$$

$$E_2(0.0095) = 0.96 \phi$$

$$\chi = 8.006 \times 10^{-8} \mu\text{Ci/g}$$

$$D = 4.69 \times 10^{-8} \text{ rad/hr}$$

$$= 4.69 \times 10^{-5} \text{ rad/year.Ci}$$

(g) $^{137}\text{Cs} - ^{137\text{m}}\text{Ba}$

$$\bar{E}_\gamma = 0.560 \text{ MeV}$$

$$\mu_a = 1.09 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_{\text{net}} = 0.0207 \text{ cm}^{-1}$$

$$K = 1.114 \times 10^{-6}$$

$$B = 3.98$$

$$\mu_{\text{ar}} = 0.0109$$

$$E_2(0.011) = 0.946$$

$$\chi = 8.006 \times 10^{-8} \mu\text{Ci/g}$$

$$D = 3.601 \times 10^{-8} \text{ rad/hr}$$

$$= 3.601 \times 10^{-5} \text{ rad/year.Ci}$$

2. β 線

$$D (\text{rad/hr}) = 1.07 \frac{\mu t \bar{E}_\beta \chi}{\rho t \rho_{\text{net}} \mu_{\text{net}}} \int_{d\mu t}^{\infty} E_1(y) dy$$

$$\int_{d\mu t}^{\infty} E_1(y) dy = E_2(d\mu t)$$

$$\rho t = 1 \text{ g/cm}^3, \rho_{\text{net}} = 1 \text{ g/cm}^3, d = 7 \text{ mg/cm}^3$$

(a) ^{103}Ru

$$\bar{E}_\beta = 0.065 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 178.4 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$\mu_{\text{net}} = 178.4 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$d\mu t = 1.249$$

$$E_2(1.249) = 0.105$$

$$\chi = 8.896 \times 10^{-11} \times 4,000 = 3.588 \times 10^{-7} \text{ } \mu\text{Ci/g}$$

$$D = 2.598 \times 10^{-9} \text{ rad/hr}$$

$$= 5.196 \times 10^{-6} \text{ rad/year Ci}$$

(b) $^{106}\text{Ru} - ^{106}\text{Rh}$

$$\bar{E}_\beta = 0.719 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 9.34 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$\mu_{\text{net}} = 9.34 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$d\mu t = 0.065$$

$$E_2(0.065) = 0.793$$

$$\chi = 3.558 \times 10^{-7} \text{ } \mu\text{Ci/g}$$

$$D = 2.171 \times 10^{-7} \text{ rad/hr}$$

$$= 4.342 \times 10^{-4} \text{ rad/year Ci}$$

(c) $^{144}\text{Ce} - ^{144}\text{Pr}$

$$\bar{E}_\beta = 0.654 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 9.85 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$\mu_{\text{net}} = 9.85 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$d\mu t = 0.069$$

$$E_2(0.069) = 0.782$$

$$\chi = 3.558 \times 10^{-7} \text{ } \mu\text{Ci/g}$$

$$D = 1.954 \times 10^{-7} \text{ rad/hr}$$

$$= 3.908 \times 10^{-4} \text{ rad/year Ci}$$

(d) ^{141}Ce

$$\bar{E}_\beta = 0.146 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 5.657 \text{ cm}^2/\mathcal{F}$$

$$\mu_{\text{net}} = 5.657 \text{ cm}^2/\mathcal{F}$$

$$d\mu t = 0.396$$

$$E_2(0.396) = 0.392$$

$$\chi = 3.558 \times 10^{-7} \text{ } \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$$

$$D = 2.179 \times 10^{-8} \text{ rad/hr}$$

$$= 4.358 \times 10^{-5} \text{ rad/year.Ci}$$

(e) ^{89}Sr

$$\bar{E}_\beta = 0.573 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 1.143 \text{ cm}^2/\mathcal{F}$$

$$\mu_{\text{net}} = 1.143 \text{ cm}^2/\mathcal{F}$$

$$d\mu t = 0.08$$

$$E_2(0.08) = 0.761$$

$$\chi = 3.558 \times 10^{-7} \text{ } \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$$

$$D = 1.66 \times 10^{-7} \text{ rad/hr}$$

$$= 3.32 \times 10^{-4} \text{ rad/year Ci}$$

(f) $^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y}$

$$\bar{E}_\beta = 0.566 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 1.204 \text{ cm}^2/\mathcal{F}$$

$$\mu_{\text{net}} = 1.204 \text{ cm}^2/\mathcal{F}$$

$$d\mu t = 0.084$$

$$E_2(0.084) = 0.752$$

$$\chi = 3.558 \times 10^{-7} \text{ } \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$$

$$D = 1.620 \times 10^{-7} \text{ rad/hr}$$

$$= 3.24 \times 10^{-4} \text{ rad/year Ci}$$

(g) $^{95}\text{Zr} \rightarrow ^{95\text{m}}\text{Nb}$

$$\bar{E}_\beta = 0.119 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 7.68 \text{ cm}^2/\mathcal{F}$$

$$\mu_{\text{net}} = 7.68 \text{ cm}^2/\mathcal{F}$$

$$d\mu t = 0.538$$

$$E_2(0.538) = 0.307$$

$$\begin{aligned} \chi &= 3.558 \times 10^{-7} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3 \\ D &= 1.391 \times 10^{-8} \text{ rad/hr} \\ &= 2.782 \times 10^{-5} \text{ rad/year.Ci} \end{aligned}$$

(h) ^{95}Nb

$$\begin{aligned} \bar{E}_\beta &= 0.0435 \text{ MeV} \\ \mu_t &= 324.73 \text{ cm}^2/\text{g} \\ \mu_{\text{net}} &= 324.73 \text{ cm}^2/\text{g} \\ d\mu_t &= 2.273 \\ E_2(2.273) &= 2.64 \times 10^{-2} \\ \chi &= 3.558 \times 10^{-7} \mu\text{Ci}/\text{g} \\ D &= 4.372 \times 10^{-10} \text{ rad/hr} \\ &= 8.744 \times 10^{-7} \text{ rad/year Ci} \end{aligned}$$

(i) $^{137}\text{Cs} - ^{137\text{m}}\text{Ba}$

$$\begin{aligned} \bar{E}_\beta &= 0.188 \text{ MeV} \\ \mu_t &= 46.17 \text{ cm}^2/\text{g} \\ \mu_{\text{net}} &= 46.17 \text{ cm}^2/\text{g} \\ d\mu_t &= 0.323 \\ E_2(0.323) &= 0.449 \\ \chi &= 3.558 \times 10^{-7} \mu\text{Ci}/\text{g} \\ D &= 3.214 \times 10^{-8} \text{ rad/hr} \\ &= 6.428 \times 10^{-5} \text{ rad/year Ci} \end{aligned}$$

C 海面からの被曝

1. γ 線

$$D(\text{rem/hr}) = 1.07 \frac{\mu_{a,t} \bar{E}_\gamma}{\rho t} \cdot \frac{\chi}{2 \mu_{a,w}} \left\{ E_1(\mu a h) + \frac{a}{1-b} e^{-(1-b)\mu a h} \right\}$$

$$\rho t = 1.0 \text{ g/cm}^2, \quad h = 100 \text{ cm}$$

(a) ^{103}Ru

$$\bar{E}_\gamma = 0.482 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.033 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_{a,w} = 0.033 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_a = 1.15 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$E_1(0.0115) = 3.92$$

$$a = 1.5, \quad b = 0.18$$

$$\chi = 8.896 \times 10^{-11} \text{ } \mu\text{Ci/cm}^2$$

$$D = 1.315 \times 10^{-10} \text{ rad/hr}$$

$$= 2.63 \times 10^{-7} \text{ rad/year Ci}$$

(b) $^{106}\text{Ru} - ^{106}\text{Rh}$

$$\bar{E}_\gamma = 0.101 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.0255 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_{a,w} = 0.0255 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_a = 2 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$E_1(0.02) = 3.355$$

$$a = 5.0, \quad b = 0.205$$

$$\chi = 8.896 \times 10^{-11} \text{ } \mu\text{Ci/cm}^2$$

$$D = 4.588 \times 10^{-11} \text{ rad/hr}$$

$$= 9.177 \times 10^{-8} \text{ rad/year Ci}$$

(c) $^{144}\text{Ce} - ^{144}\text{Pr}$

$$\bar{E}_\gamma = 0.024 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.29 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_{a,w} = 0.29 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_a = 6.6 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$E_1(0.066) = 2.215$$

$$a = 2.18, \quad b = 0.22$$

$$\begin{aligned} \chi &= 8.896 \times 10^{-11} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3 \\ D &= 3.285 \times 10^{-11} \text{ rad/hr} \\ &= \underline{\underline{6.57 \times 10^{-8} \text{ rad/year.Ci}}} \end{aligned}$$

(d) ^{141}Ce

$$\begin{aligned} \bar{E}_\gamma &= 0.071 \text{ MeV} \\ \mu_{a,t} &= 0.028 \text{ cm}^{-1} \\ \mu_{a,w} &= 0.028 \text{ cm}^{-1} \\ \mu_a &= 2.25 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1} \\ E_1(0.0225) &= 3.246 \\ a &= 7.1, \quad b = 0.213 \\ \chi &= 8.896 \times 10^{-11} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3 \\ D &= 4.092 \times 10^{-11} \text{ rad/hr} \\ &= \underline{\underline{8.184 \times 10^{-8} \text{ rad/year Ci}}} \end{aligned}$$

(e) $^{95}\text{Zr} - ^{95}\text{Nb}$

$$\begin{aligned} \bar{E}_\gamma &= 0.727 \text{ MeV} \\ \mu_{a,t} &= 0.032 \text{ cm}^{-1} \\ \mu_{a,w} &= 0.032 \text{ cm}^{-1} \\ E_1(0.0097) &= 4.04 \\ a &= 1.25, \quad b = 0.135 \\ \chi &= 8.896 \times 10^{-11} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3 \\ D &= 1.894 \times 10^{-10} \text{ rad/hr} \\ &= \underline{\underline{3.787 \times 10^{-7} \text{ rad/year Ci}}} \end{aligned}$$

(f) ^{95}Nb

$$\begin{aligned} \bar{E}_\gamma &= 0.764 \text{ MeV} \\ \mu_{a,t} &= 0.032 \text{ cm}^{-1} \\ \mu_{a,w} &= 0.032 \text{ cm}^{-1} \\ \mu_a &= 9.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1} \\ E_1(0.0095) &= 3.84 \\ a &= 1.24, \quad b = 0.128 \\ \chi &= 8.896 \times 10^{-11} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3 \\ D &= 1.909 \times 10^{-10} \text{ rad/hr} \\ &= \underline{\underline{3.818 \times 10^{-7} \text{ rad/year Ci}}} \end{aligned}$$

(g) $^{137}\text{Cs} - ^{137}\text{Ba}$

$$\bar{E}_\gamma = 0.560 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.0325 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_{a,w} = 0.0325 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_a = 1.09 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$E_1(0.0109) = 3.966$$

$$\chi = 8.896 \times 10^{-11} \text{ } \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$$

$$a = 1.4, \quad b = 0.166$$

$$D = 1.50 \times 10^{-10} \text{ rad/hr}$$

$$= 3.00 \times 10^{-7} \text{ rad/year Ci}$$

2. β 線

$$D(\text{rad/hr}) = 1.07 \frac{\mu t \bar{E}_\beta}{\rho t} \frac{\chi}{2 \mu_w} E_1(\mu a h + d \mu t)$$

$$\rho t = 1.0 \text{ g/cm}^3, h = 100 \text{ cm}, d = 7 \text{ mg/cm}^2$$

(a) ^{103}Ru

$$\bar{E}_\beta = 0.065 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 178.4 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$\mu_w = 178.4 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$\mu_a = 161.25 \text{ cm}^2/\text{g} (=0.208 \text{ cm}^{-1})$$

$$\mu a h + d \mu t = 2205$$

$$E_1(2205) = 1.2 \times 10^{-1}$$

$$\chi = 8.896 \times 10^{-11} \mu\text{Ci/cm}^3$$

$$D = 3.71 \times 10^{-23} \text{ rad/hr}$$

$$= 7.42 \times 10^{-20} \text{ rad/year Ci}$$

(b) $^{106}\text{Ru} - ^{106}\text{Rh}$

$$\bar{E}_\beta = 0.719 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 9.34 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$\mu_w = 9.34 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$\mu_a = 7.91 \text{ cm}^2/\text{g} (=0.0102 \text{ cm}^{-1})$$

$$\mu a h + d \mu t = 1.085$$

$$E_1(1.085) = 0.191$$

$$\chi = 8.896 \times 10^{-11} \mu\text{Ci/cm}^3$$

$$D = 6.536 \times 10^{-12} \text{ rad/hr}$$

$$= 1.307 \times 10^{-8} \text{ rad/year Ci}$$

(c) $^{144}\text{Ce} - ^{144}\text{Pr}$

$$\bar{E}_\beta = 0.654 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 9.85 \text{ cm}^2/\text{g} = \mu_w$$

$$\mu_a = 8.36 \text{ cm}^2/\text{g} (=0.0108 \text{ cm}^{-1})$$

$$\mu a h + d \mu t = 1.15$$

$$E_1(1.15) = 0.172, \chi = 8.896 \times 10^{-11} \mu\text{Ci/cm}^3$$

$$D = 5.354 \times 10^{-12} \text{ rad/hr}$$

$$= 1.07 \times 10^{-8} \text{ rad/year Ci}$$

(d) ^{141}Ce

$$\bar{E}_\beta = 0.146 \text{ MeV}$$

$$\mu_t = 5.657 \text{ cm}^2/\mathcal{G} = \mu_w$$

$$\mu_a = 4.986 \text{ cm}^2/\mathcal{G} (= 0.0645 \text{ cm}^{-1})$$

$$\mu_{ah} + d\mu_t = 6.846$$

$$E_1(6.846) = 1.35 \times 10^{-4}$$

$$\chi = 8.896 \times 10^{-11} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$$

$$D = 9.38 \times 10^{-16} \text{ rad/hr}$$

$$= 1.876 \times 10^{-12} \text{ rad/year Ci}$$

(e) ^{89}Sr

$$\bar{E}_\beta = 0.573 \text{ MeV}$$

$$\mu_t = 1.43 \text{ cm}^2/\mathcal{G} = \mu_w$$

$$\mu_a = 9.73 \text{ cm}^2/\mathcal{G} (= 0.0126 \text{ cm}^{-1})$$

$$\mu_{ah} + \mu_{td} = 1.34$$

$$E_1(1.34) = 0.128, \chi = 8.896 \times 10^{-11} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$$

$$D = 3.491 \times 10^{-12} \text{ rad/hr}$$

$$= 6.981 \times 10^{-9} \text{ rad/year Ci}$$

(f) $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$

$$\bar{E}_\beta = 0.566 \text{ MeV}$$

$$\mu_t = 1.204 \text{ cm}^2/\mathcal{G} = \mu_w$$

$$\mu_a = 1.026 \text{ cm}^2/\mathcal{G} (= 0.0133 \text{ cm}^{-1})$$

$$\mu_{ah} + \mu_{td} = 1.414$$

$$E_1(1.414) = 0.114, \chi = 8.896 \times 10^{-11} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$$

$$D = 3.071 \times 10^{-12} \text{ rad/hr}$$

$$= 6.142 \times 10^{-9} \text{ rad/year Ci}$$

(g) $^{95}\text{Zr} - ^{95\text{m}}\text{Nb}$

$$\bar{E}_\beta = 0.119 \text{ MeV}$$

$$\mu_t = 7.686 \text{ cm}^2/\mathcal{G} = \mu_w$$

$$\mu_a = 6.820 \text{ cm}^2/\mathcal{G} (= 0.0882 \text{ cm}^{-1})$$

$$\mu_{ah} + \mu_{td} = 9.36$$

$$E_1(9.36) = 8 \times 10^{-6}, \chi = 8.896 \times 10^{-11} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$$

$$D = 4.531 \times 10^{-17} \text{ rad/hr}$$

$$= 9.062 \times 10^{-14} \text{ rad/year Ci}$$

(h) ^{95}Nb

$$\bar{E}_\beta = 0.0435 \text{ MeV}$$

$$\mu_t = 324.73 \text{ cm}^2/\mathcal{G} = \mu_w$$

$$\mu_a = 297.39 \text{ cm}^2/\mathcal{G} (= 0.385 \text{ cm}^{-1})$$

$$\mu_{ah} + d\mu_t = 4.077$$

$$E_1(4.077) = 8.21 \times 10^{-17}$$

$$\chi = 8.896 \times 10^{-11} \text{ } \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$$

$$D = 1.7 \times 10^{-28} \text{ rad/hr}$$

$$= 3.4 \times 10^{-25} \text{ rad/year Ci}$$

(i) $^{137}\text{Cs} - ^{137\text{m}}\text{Ba}$

$$\bar{E}_\beta = 0.188 \text{ MeV}$$

$$\mu_t = 46.17 \text{ cm}^2/\mathcal{G} = \mu_w$$

$$\mu_a = 40.51 \text{ cm}^2/\mathcal{G} (= 0.0524)$$

$$\mu_{ah} + d\mu_t = 5.563$$

$$E_1(5.563) = 6 \times 10^{-4}$$

$$\chi = 8.896 \times 10^{-11} \text{ } \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$$

$$D = 5.369 \times 10^{-15} \text{ rad/hr}$$

$$= 1.074 \times 10^{-11} \text{ rad/year Ci}$$

D 海水中での被曝

1. γ 線

$$D(\text{rem/hr}) = 2 \times 1.07 \frac{\mu_{a,t} \bar{E}\gamma \chi}{P_t \mu_w} \left(1 + \frac{a}{(1-b)^2} \right)$$

$$\rho_t = 1 \text{ g/cm}^3, \quad \chi = 1.496 \times 10^{-11} \text{ } \mu\text{Ci/cm}^3$$

(a) ^{103}Ru

$$\bar{E}\gamma = 0.482 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.033 \text{ cm}^{-1}, \quad \mu_w = 0.098 \text{ cm}^{-1}$$

$$a = 1.5, \quad b = 0.18$$

$$D = 1.68 \times 10^{-11} \text{ rem/hr}$$

$$= 1.68 \times 10^{-9} \text{ rem/year Ci}$$

(b) $^{106}\text{Ru} - ^{106}\text{Rh}$

$$\bar{E}\gamma = 0.101 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.0255 \text{ cm}^{-1}, \quad \mu_w = 0.17 \text{ cm}^{-1}$$

$$a = 5.0, \quad b = 0.205$$

$$D = 4.32 \times 10^{-12} \text{ rem/hr}$$

$$= 4.32 \times 10^{-10} \text{ rem/year Ci}$$

(c) $^{144}\text{Ce} - ^{144}\text{Pr}$

$$\bar{E}\gamma = 0.024 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.29 \text{ cm}^{-1}, \quad \mu_w = 0.53 \text{ cm}^{-1}$$

$$a = 21.8, \quad b = 0.22$$

$$D = 1.548 \times 10^{-11} \text{ rem/hr}$$

$$= 1.548 \times 10^{-9} \text{ rem/hr}$$

(d) ^{141}Ce

$$\bar{E}\gamma = 0.071 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.028 \text{ cm}^{-1}, \quad \mu_w = 0.194 \text{ cm}^{-1}$$

$$a = 7.1, \quad b = 0.213$$

$$D = 4.089 \times 10^{-12} \text{ rem/hr}$$

$$= 4.089 \times 10^{-10} \text{ rem/year Ci}$$

(e) $^{95}\text{Zr} \rightarrow ^{95\text{m}}\text{Nb}$

$$\bar{E}_\gamma = 0.727 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.032 \text{ cm}^{-1}, \quad \mu_w = 0.082 \text{ cm}^{-1}$$

$$a = 1.25, \quad b = 0.135$$

$$D = 2.426 \times 10^{-11} \text{ rem/hr}$$

$$= 2.426 \times 10^{-9} \text{ rem/year Ci}$$

(f) ^{95}Nb

$$\bar{E}_\gamma = 0.764 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.032 \text{ cm}^{-1}, \quad \mu_w = 0.08 \text{ cm}^{-1}$$

$$a = 1.24, \quad b = 0.128$$

$$D = 2.574 \times 10^{-11} \text{ rem/hr}$$

$$= 2.574 \times 10^{-9} \text{ rem/year Ci}$$

(g) $^{137}\text{Cs} \rightarrow ^{137}\text{Ba}$

$$\bar{E}_\gamma = 0.560 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.0325 \text{ cm}^{-1}, \quad \mu_w = 0.092 \text{ cm}^{-1}$$

$$a = 1.4, \quad b = 0.166$$

$$D = 1.908 \times 10^{-11} \text{ rem/hr}$$

$$= 1.908 \times 10^{-9} \text{ rem/year Ci}$$

2. β 線

$$D(\text{rad/hr}) = 1.07 \frac{\mu t \bar{E}_\beta \chi}{\rho t \mu_w} \int_{d\mu t}^{\infty} E_1(y) dy$$

$$\rho t = 1.0 \text{ g/cm}^2, \quad d = 7 \text{ mg/cm}^2$$

$$\chi = 1.496 \times 10^{-11} \text{ } \mu\text{Ci/cm}^2$$

$$E_2(d\mu t) = \int_{d\mu t}^{\infty} E_1(y) dy$$

(a) ^{103}Ru

$$\bar{E}_\beta = 0.065 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 178.4 \text{ cm}^2/\text{g} = \mu_w$$

$$d\mu t = 1.249, \quad E_2(1.249) = 0.104$$

$$D = 1.082 \times 10^{-13} \text{ rad/hr}$$

$$= 1.082 \times 10^{-11} \text{ rad/yearCi}$$

(b) $^{106}\text{Ru} - ^{106}\text{Rh}$

$$\bar{E}_\beta = 0.719 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 9.34 \text{ cm}^2/\text{g} = \mu_w$$

$$d\mu t = 0.065, \quad E_2(0.065) = 0.793$$

$$D = 9.127 \times 10^{-12} \text{ rad/hr}$$

$$= 9.127 \times 10^{-10} \text{ rad/yearCi}$$

(c) $^{144}\text{Ce} - ^{144}\text{Pr}$

$$\bar{E}_\beta = 0.654 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 9.85 \text{ cm}^2/\text{g} = \mu_w$$

$$d\mu t = 0.069, \quad E_2(0.069) = 0.782$$

$$D = 8.187 \times 10^{-12} \text{ rad/hr}$$

$$= 8.187 \times 10^{-10} \text{ rad/yearCi}$$

(d) ^{141}Ce

$$\bar{E}_\beta = 0.146 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 56.57 \text{ cm}^2/\text{g} = \mu_w$$

$$d\mu t = 0.396, \quad E_2(0.396) = 0.392$$

$$D = 9.161 \times 10^{-13} \text{ rad/hr}$$

$$= 9.161 \times 10^{-11} \text{ rad/yearCi}$$

(e) ^{89}Sr

$$\bar{E}_\beta = 0.573 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 1.143 \text{ cm}^2/\mathcal{F} = \mu w$$

$$d\mu t = 0.08, \quad E_2(0.08) = 0.761$$

$$D = 6.98 \times 10^{-12} \text{ rad/hr}$$

$$= 6.98 \times 10^{-10} \text{ rad/yearCi}$$

(f) $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$

$$\bar{E}_\beta = 0.566 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 1.204 \text{ cm}^2/\mathcal{F} = \mu w$$

$$d\mu t = 0.084, \quad E_2(0.084) = 0.751$$

$$D = 6.804 \times 10^{-12} \text{ rad/hr}$$

$$= 6.804 \times 10^{-10} \text{ rad/yearCi}$$

(g) $^{95}\text{Zr} - ^{95\text{m}}\text{Nb}$

$$\bar{E}_\beta = 0.119 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 76.86 \text{ cm}^2/\mathcal{F} = \mu w$$

$$d\mu t = 0.538, \quad E_2(0.538) = 0.307$$

$$D = 5.848 \times 10^{-13} \text{ rad/hr}$$

$$= 5.848 \times 10^{-11} \text{ rad/yearCi}$$

(h) ^{95}Nb

$$\bar{E}_\beta = 0.0435 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 324.73 \text{ cm}^2/\mathcal{F} = \mu w$$

$$d\mu t = 2.273, \quad E_2(2.273) = 2.64 \times 10^{-2}$$

$$D = 1.838 \times 10^{-14} \text{ rad/hr}$$

$$= 1.838 \times 10^{-12} \text{ rad/yearCi}$$

(i) $^{137}\text{Cs} - ^{137}\text{Ba}$

$$\bar{E}_\beta = 0.188 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 46.17 \text{ cm}^2/\mathcal{F} = \mu w$$

$$d\mu t = 0.323, \quad E_2(0.323) = 0.449$$

$$D = 1.351 \times 10^{-12} \text{ rad/hr}$$

$$= 1.351 \times 10^{-10} \text{ rad/yearCi}$$

E 船体からの被曝

1. γ 線

$$D(\text{rem/hr}) = 1.07 \frac{\mu_{a,t} \bar{E} \gamma \chi}{\rho t} [E_1(\mu a h) - E_1(\mu a \sqrt{r_0^2 + h^2}) + \frac{a}{1-b} \{ e^{-(1-b)\mu a h} - e^{-(1-b)\mu a \sqrt{r_0^2 + h^2}} \}]$$

$$r_0 = 380 \text{ cm}, \quad h = 70 \text{ cm}, \quad \rho t = 1 \text{ g/cm}^2$$

$$\chi = 8.896 \times 10^{-10} \text{ } \mu\text{Ci/cm}^2, \quad \sqrt{r_0^2 + h^2} = 386.39$$

(a) ^{103}Ru

$$\bar{E} \gamma = 0.482 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.033 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_a = 1.15 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu a h = 0.00805, \quad E_1(0.008) = 4.313$$

$$\mu a \sqrt{r_0^2 + h^2} = 0.044, \quad E_1(0.044) = 2.59$$

$$a = 1.5, \quad b = 0.18$$

$$e^{-(1-b)\mu a h} = 0.9934$$

$$e^{-(1-b)\mu a \sqrt{r_0^2 + h^2}} = 0.9646$$

$$D = 2.688 \times 10^{-11} \text{ rad/hr}$$

$$= 8.065 \times 10^{-8} \text{ rad/year Ci}$$

(b) $^{106}\text{Ru} - ^{106}\text{Rh}$

$$\bar{E} \gamma = 0.101 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.0255 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_a = 2 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu a h = 0.014, \quad E_1(0.014) = 3.717$$

$$\mu a \sqrt{r_0^2 + h^2} = 0.077, \quad E_1(0.077) = 2.063$$

$$a = 5.0, \quad b = 0.205$$

$$e^{-(1-b)\mu a h} = 0.989$$

$$e^{-(1-b)\mu a \sqrt{r_0^2 + h^2}} = 0.941$$

$$D = 4.79 \times 10^{-12} \text{ rad/hr}$$

$$= 1.44 \times 10^{-8} \text{ rad/year Ci}$$

(c) $^{144}\text{Ce} - ^{144}\text{Pr}$

$$\bar{E}\gamma = 0.024 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.29 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_a = 6.6 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_{ah} = 0.046, \quad E_1(0.046) = 2.548$$

$$\mu_a \sqrt{r_0^2 + h^2} = 0.255, \quad E_1(0.255) = 1.029$$

$$a = 21.8, \quad b = 0.22$$

$$e^{-(1-b)\mu_{ah}} = 0.965$$

$$e^{-(1-b)\mu_a \sqrt{r_0^2 + h^2}} = 0.82$$

$$D = 3.691 \times 10^{-11} \text{ rem/hr}$$

$$= 1.107 \times 10^{-7} \text{ rem/year Ci}$$

(d) ^{141}Ce

$$\bar{E}\gamma = 0.071 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.028 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_a = 2.25 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_{ah} = 0.016, \quad E_1(0.016) = 3.581$$

$$\mu_a \sqrt{r_0^2 + h^2} = 0.087, \quad E_1(0.087) = 1.950$$

$$a = 7.1, \quad b = 0.213$$

$$e^{-(1-b)\mu_{ah}} = 0.987$$

$$e^{-(1-b)\mu_a \sqrt{r_0^2 + h^2}} = 0.934$$

$$D = 3.991 \times 10^{-12} \text{ rem/hr}$$

$$= 1.197 \times 10^{-8} \text{ rem/year Ci}$$

(e) $^{95}\text{Zr} - ^{95\text{m}}\text{Nb}$

$$\bar{E}\gamma = 0.727 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.032 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_a = 9.7 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_{ah} = 0.007, \quad E_1(0.007) = 4.45$$

$$\mu_a \sqrt{r_0^2 + h^2} = 0.037, \quad E_1(0.037) = 2.76$$

$$a = 1.25, \quad b = 0.135$$

$$e^{-(1-b)\mu_{ah}} = 0.994$$

$$e^{-(1-b)\mu_a \sqrt{r_0^2 + h^2}} = 0.968$$

$$D = 3.826 \times 10^{-11} \text{ rem/hr}$$

$$= 1.148 \times 10^{-7} \text{ rem/year Ci}$$

(f) ^{95}Nb

$$\bar{E}_\gamma = 0.764 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.032 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_a = 9.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_{ah} = 0.0067, \quad E_1(0.0067) = 4.49$$

$$\mu_a \sqrt{r_0^2 + h^2} = 0.037, \quad E_1(0.037) = 2.758$$

$$a = 1.24, \quad b = 0.128$$

$$e^{-(1-b)\mu_{ah}} = 0.994$$

$$e^{-(1-b)\mu_a \sqrt{r_0^2 + h^2}} = 0.968$$

$$D = 4.117 \times 10^{-11} \text{ rem/hr}$$

$$= 1.235 \times 10^{-7} \text{ rem/year Ci}$$

(g) $^{137}\text{Cs} - ^{137\text{m}}\text{Ba}$

$$\bar{E}_\gamma = 0.560 \text{ MeV}$$

$$\mu_{a,t} = 0.0325 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_a = 1.09 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_{ah} = 0.0076, \quad E_1(0.0076) = 4.368$$

$$\mu_a \sqrt{r_0^2 + h^2} = 0.042, \quad E_1(0.042) = 2.636$$

$$a = 1.4, \quad b = 0.166$$

$$e^{-(1-b)\mu_{ah}} = 0.994$$

$$e^{-(1-b)\mu_a \sqrt{r_0^2 + h^2}} = 0.966$$

$$D = 3.082 \times 10^{-11} \text{ rem/hr}$$

$$= 9.246 \times 10^{-8} \text{ rem/year Ci}$$

2. β 線

$$D (\text{rad/hr}) = 1.07 \frac{\mu t \bar{E}_\beta \chi}{\rho t} E_1(d\mu t)$$

$$\rho t = 1 \text{ g/cm}^2, \quad d = 7 \text{ mg/cm}^2$$

$$\chi = 8.896 \times 10^{-10} \text{ } \mu\text{Ci/cm}^2$$

(a) ^{103}Ru

$$\bar{E}_\beta = 0.065 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 178.4 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$d\mu t = 1.25, \quad E_1(1.25) = 0.146$$

$$D = 1.612 \times 10^{-9} \text{ rad/hr}$$

$$= 4.835 \times 10^{-6} \text{ rad/year Ci}$$

(b) $^{106}\text{Ru} - ^{106}\text{Rh}$

$$\bar{E}_\beta = 0.719 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 9.34 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$d\mu t = 0.065, \quad E_1(0.065) = 2.22$$

$$D = 1.419 \times 10^{-8} \text{ rad/hr}$$

$$= 4.257 \times 10^{-5} \text{ rad/year Ci}$$

(c) $^{144}\text{Ce} - ^{144}\text{Pr}$

$$\bar{E}_\beta = 0.654 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 9.85 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$d\mu t = 0.07, \quad E_1(0.07) = 2.151$$

$$D = 1.32 \times 10^{-8} \text{ rad/hr}$$

$$= 3.957 \times 10^{-5} \text{ rad/year Ci}$$

(d) ^{141}Ce

$$\bar{E}_\beta = 0.146 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 56.57 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$d\mu t = 0.4, \quad E_1(0.4) = 0.702$$

$$D = 5.519 \times 10^{-9} \text{ rad/hr}$$

$$= 1.656 \times 10^{-5} \text{ rad/year Ci}$$

(e) ^{89}Sr

$$\bar{E}_\beta = 0.573 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 1.43 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$d\mu t = 0.08, \quad E_1(0.08) = 2.027$$

$$D = 1.264 \times 10^{-8} \text{ rad/hr}$$

$$= 3.791 \times 10^{-5} \text{ rad/year Ci}$$

(f) $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$

$$\bar{E}_\beta = 0.566 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 1.204 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$d\mu t = 0.084, \quad E_1(0.084) = 1.982$$

$$D = 1.286 \times 10^{-8} \text{ rad/hr}$$

$$= 3.857 \times 10^{-5} \text{ rad/year Ci}$$

(g) $^{95}\text{Zr} - ^{95}\text{Nb}$

$$\bar{E}_\beta = 0.119 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 76.86 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$d\mu t = 0.538, \quad E_1(0.538) = 0.516$$

$$D = 4.492 \times 10^{-9} \text{ rad/hr}$$

$$= 1.348 \times 10^{-5} \text{ rad/year Ci}$$

(h) ^{95}Nb

$$\bar{E}_\beta = 0.0435 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 324.73 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$d\mu t = 2.27, \quad E_1(2.27) = 0.0338$$

$$D = 4.545 \times 10^{-10} \text{ rad/hr}$$

$$= 1.363 \times 10^{-6} \text{ rad/year Ci}$$

(i) $^{137}\text{Cs} - ^{137}\text{Ba}$

$$\bar{E}_\beta = 0.188 \text{ MeV}$$

$$\mu t = 46.17 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$d\mu t = 0.323, \quad E_1(0.323) = 0.851$$

$$D = 7.031 \times 10^{-9} \text{ rad/hr}$$

$$= 2.11 \times 10^{-5} \text{ rad/year Ci}$$

1年間あたりの放出量260 Ciの内分けは、

	γ	β
^{103}Ru	14.0 Ci	14.3 Ci
$^{106}\text{Ru}-^{106}\text{Rh}$	126.0	128.4
$^{144}\text{Ce}-^{144}\text{Pr}$	52.3	72.2
^{141}Ce	2.1	2.8
^{89}Sr	1.7	1.7
^{90}Sr	3.5	3.5
$^{95}\text{Zr}-^{95\text{m}}\text{Nb}$	16.7	8.8
^{95}Nb	33.3	17.6
$^{137}\text{Cs}-^{137\text{m}}\text{Ba}$	10.4	10.6
total	260 Ci	259.9 Ci

前記の計算結果は全て、1 Ci/year 放出についての計算であるため、これらの値に上記の表の放出量を乗ずることで、年間放出量毎の外部被曝線量が得られる。

	放射線	核種毎に 求めた合計値	詳細安審値*
海岸砂からの被曝	γ (mrem/y)	0.18	0.2
	β "	0.61	0.6
漁網からの被曝	γ "	6.2	5.0
	β "	86.8	85
海面からの被曝	γ "	0.035	0.04
	β "	2.5×10^{-3}	2×10^{-3}
海水中での被曝	γ "	3.16×10^{-4}	2×10^{-4}
	β "	1.8×10^{-4}	2×10^{-4}
船体からの被曝	γ "	0.011	0.01
	β "	9.0	10

* 詳細安審値は、N.付録を参照のこと。平均エネルギーは、全核種について放出量等を考慮して求めた。

1 Ci/y* 放出時の核種ごとの外部被曝線量 (mrem/y)

	放射線	^{103}Ru	$^{106}\text{Ru}/^{106}\text{Rh}$	$^{144}\text{Ce}/^{144}\text{Pr}$	^{141}Ce	^{89}Sr	$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	$^{95}\text{Zr}/^{95}\text{Nb}$	^{95}Nb	$^{137}\text{Cs}/^{137}\text{Ba}$
海岸砂からの被曝	γ	2.31×10^{-3}	3.36×10^{-4}	1.55×10^{-4}	2.25×10^{-4}	0	0	1.81×10^{-3}	1.90×10^{-3}	2.69×10^{-4}
	β	4.03×10^{-5}	3.12×10^{-3}	2.8×10^{-3}	3.14×10^{-4}	2.38×10^{-5}	2.32×10^{-5}	1.02×10^{-4}	3.76×10^{-6}	4.60×10^{-5}
漁網からの被曝	γ	3.25×10^{-2}	1.03×10^{-2}	3.49×10^{-2}	9.99×10^{-3}	0	0	4.47×10^{-2}	4.69×10^{-2}	3.6×10^{-2}
	β	5.2×10^{-3}	4.34×10^{-1}	3.91×10^{-1}	4.36×10^{-2}	3.32×10^{-1}	3.24×10^{-1}	2.78×10^{-2}	8.74×10^{-4}	6.43×10^{-2}
海面からの被曝	γ	2.63×10^{-4}	9.18×10^{-5}	6.57×10^{-5}	8.18×10^{-5}	0	0	3.79×10^{-4}	3.82×10^{-4}	3.0×10^{-4}
	β	7.42×10^{-17}	1.31×10^{-5}	1.07×10^{-5}	1.88×10^{-9}	6.98×10^{-6}	6.14×10^{-6}	9.06×10^{-11}	3.4×10^{-22}	1.07×10^{-8}
海水中での被曝	γ	1.68×10^{-5}	4.32×10^{-7}	1.55×10^{-6}	4.09×10^{-7}	0	0	2.43×10^{-6}	2.57×10^{-6}	1.91×10^{-6}
	β	1.08×10^{-8}	9.13×10^{-7}	8.19×10^{-7}	9.16×10^{-8}	6.98×10^{-7}	6.80×10^{-7}	5.85×10^{-8}	1.84×10^{-9}	1.35×10^{-7}
船体からの被曝	γ	8.07×10^{-5}	1.44×10^{-6}	1.11×10^{-4}	1.2×10^{-5}	0	0	1.15×10^{-4}	1.24×10^{-4}	9.25×10^{-5}
	β	4.84×10^{-3}	4.26×10^{-2}	3.96×10^{-2}	1.66×10^{-2}	3.79×10^{-2}	3.86×10^{-2}	1.35×10^{-2}	1.36×10^{-3}	2.11×10^{-2}

* 1 Ci/y/Nuclide

核種毎の被曝線量計算において、船体と海面からの線量は、低エネルギー側で過大評価をしている。なぜならば、two parameter formula ($1 + a\mu_{ar} + b\mu_{ar}^2$) を使用した原式を残すために、aおよびbの値に水の数値を使ったためである。(空気についての、a, bはどの文献にも見出せなかった。)また、a, bの値についても0.25 MeV以下は外挿により求めたものであり、その信頼性は低い。

これを正しく行なうには、再生係数を求める式として、3次多項式 $B = 1 + \alpha\mu_{ar} + \beta(\mu_{ar})^2 + \gamma(\mu_{ar})^3$ を使用すればよい。この式を使用した場合の、1 Ci/year・核種放出時の外部被曝線量を次表に示す。前出の表の値と若干異なる点は、前者が手計算によるもので、後者が計算プログラムによるものであることが原因である。

1 Ci/y 放出時の核種別の外部被曝線量 (mrem/y)

	103Ru	106Ru-106Rh	141Ce	144Ce	95Zr-95Nb	95Nb	89Sr	90Sr-90Y	137Cs-137mBa
海岸砂	γ	2.3x10 ⁻³	3.3x10 ⁻⁴	2.3x10 ⁻⁴	1.9x10 ⁻³	2.0x10 ⁻³	0	0	2.8x10 ⁻⁴
	β	4.0x10 ⁻⁵	3.1x10 ⁻³	3.1x10 ⁻⁴	1.0x10 ⁻⁴	3.8x10 ⁻⁶	2.4x10 ⁻⁵	2.3x10 ⁻⁵	4.6x10 ⁻⁵
魚網	γ	3.2x10 ⁻²	1.0x10 ⁻²	1.0x10 ⁻²	4.4x10 ⁻²	4.6x10 ⁻²	0	0	3.6x10 ⁻²
	β	5.1x10 ⁻²	0.43	4.4x10 ⁻²	2.8x10 ⁻²	8.8x10 ⁻⁴	0.33	0.32	6.4x10 ⁻²
船体	γ	7.8x10 ⁻⁵	1.3x10 ⁻⁵	1.1x10 ⁻⁵	1.2x10 ⁻⁴	1.2x10 ⁻⁴	0	0	9.0x10 ⁻⁵
	β	4.7x10 ⁻³	4.3x10 ⁻²	1.7x10 ⁻²	1.4x10 ⁻²	1.4x10 ⁻³	3.8x10 ⁻²	3.9x10 ⁻²	2.1x10 ⁻²
海面	γ	2.5x10 ⁻⁴	6.8x10 ⁻⁵	4.9x10 ⁻⁵	3.7x10 ⁻⁴	3.9x10 ⁻⁴	0	0	2.9x10 ⁻⁴
	β	6.9x10 ⁻¹⁷	1.3x10 ⁻⁵	1.9x10 ⁻⁹	9.6x10 ⁻¹¹	2.1x10 ⁻²⁵	7.0x10 ⁻⁶	6.2x10 ⁻⁶	1.1x10 ⁻⁶
海水中	γ	1.6x10 ⁻⁶	4.4x10 ⁻⁷	4.3x10 ⁻⁷	2.5x10 ⁻⁶	2.6x10 ⁻⁶	0	0	1.9x10 ⁻⁶
	β	1.1x10 ⁻⁸	9.1x10 ⁻⁷	9.2x10 ⁻⁸	5.8x10 ⁻⁸	1.8x10 ⁻⁹	7.0x10 ⁻⁷	6.8x10 ⁻⁷	1.4x10 ⁻⁷

(注) 船体および海面からのγ線量計算において、 $B=1 + \alpha\mu_{\text{air}} + \beta(\mu_{\text{air}})^2 + \gamma(\mu_{\text{air}})^3$ を使用した。
 前出の表との違いは、特に¹⁴¹Ce、¹⁴⁴Ceで大きい(低エネルギー側)。

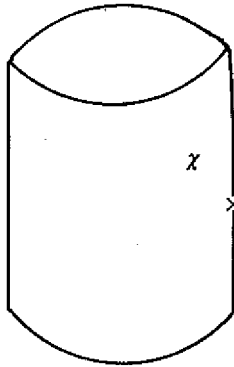
$$B=1+\alpha(\mu\text{ar})+\beta(\mu\text{ar})^2+\gamma(\mu\text{ar})^3 \quad \text{for air}$$

E (MeV)	α	β	γ
0.01	0.010390	0.001476	-0.00005806
0.015	0.15203	-0.014892	0.00048165
0.02	0.37474	-0.033582	0.0010654
0.03	1.2270	-0.062247	0.0020127
0.04	2.2543	0.087363	0.000024697
0.05	2.7914	0.50776	0.0020590
0.06	2.8286	0.95464	0.021414
0.07	2.7311	1.1531	0.065927
0.08	2.5499	1.2031	0.11115
0.09	2.3605	1.1929	0.13581
0.10	2.2857	1.0838	0.16117
0.15	1.8347	0.76133	0.16573
0.20	1.5119	0.66560	0.11792
0.30	1.1522	0.65758	0.037897
0.40	1.0503	0.53489	0.016602
0.50	0.98982	0.45070	0.0038726
0.60	0.96881	0.37066	0.00030405
0.70	0.95120	0.30658	-0.0018535
0.80	0.94226	0.25805	-0.0025008
0.90	0.91047	0.22280	-0.0030863
1.0	0.91686	0.18630	-0.0027652
1.5	0.85069	0.091974	-0.0019336
2.0	0.77928	0.050457	-0.0011975
3.0	0.66827	0.0085488	-0.00015847
4.0	0.57420	-0.0061698	0.00021643
5.0	0.50899	-0.014566	0.00046705

R.E.Cooper, EGAD-A Computer Program to Compute
Dose Integrals from External Gamma Emitters,
DP-1304, 1972

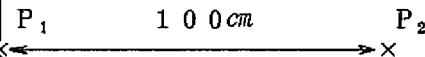
Ⅲ. そ の 他

1. 堆積漁網からのβ線外部被曝



(JAERI 1065より)

濃度 $x \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ の体積線源の表面 P_1 における吸収線量は、線源を半無限と見なすと (最大 β エネルギー 1.4 MeV のものについては十分に成り立つものと思われる。)



$$D_{P_1} = \frac{1.07}{\rho_s} \bar{E} x$$

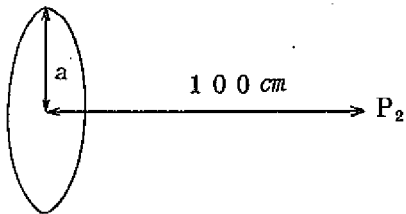
$$\bar{E} = 0.57 \text{ MeV}$$

$$x = 9.28 \times 10^{-5} \times \frac{0.36}{1.6} = 2.088 \times 10^{-5} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$$

$$D_{P_1} = \frac{1.07}{1} \times 0.57 \times 2.088 \times 10^{-5}$$

$$= 1.27 \times 10^{-5} \text{ rad/hr}$$

また、線源から 100 cm はなれた点 P_2 では、線源を半径 a の円板線源とみなすと、



$$D_{P_2} = D_{P_1} e^{-\mu r} K \cdot K_\beta$$

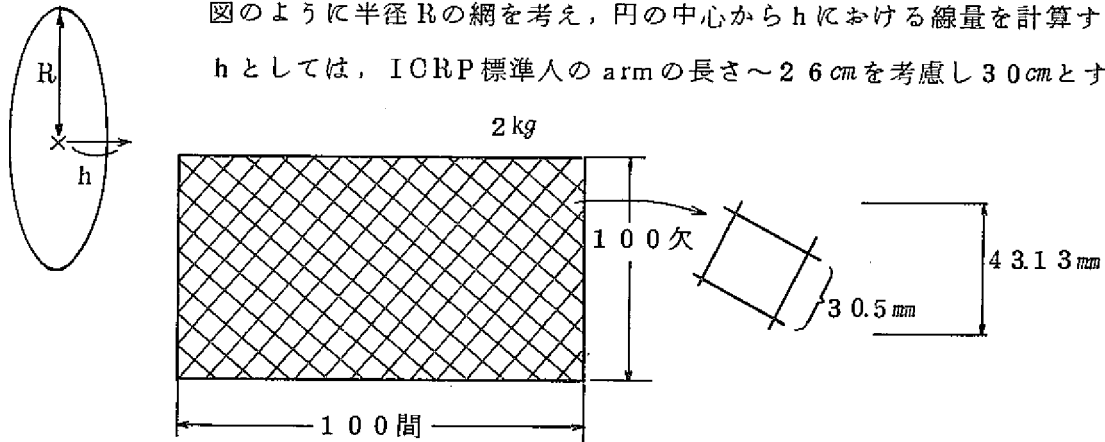
$$K = 1 - 1/\sqrt{1 + (\frac{a}{100})^2}, K_\beta = 0.92$$

$$\mu = 0.0134, e^{-\mu r} = 0.262$$

$a \text{ (cm)}$	$D_{P_2} \text{ (rad/hr)}$	$D_{P_2} \text{ (rad/year)}$
30	1.16×10^{-7}	1.16×10^{-4}
50	3.07×10^{-7}	3.07×10^{-4}
100	8.43×10^{-7}	8.43×10^{-4}
200	1.59×10^{-6}	1.59×10^{-3}

2. 作業中の漁網からの r 被曝

過大評価となることは避けられないが、次のようなモデルで計算する。



図のように半径 R の網を考え、円の中心から h における線量を計算する。
h としては、ICRP 標準人の arm の長さ ~ 26 cm を考慮し 30 cm とする。

網については、多種類があるが、ここではニシン刺網を考えた。
網の重量は水を含んだ状態で 2 倍 4 kg となると仮定すると。

$$\begin{aligned} \chi (\mu\text{Ci}/\text{cm}^2) &= 9.28 \times 10^{-5} \times 4,000 \times \frac{1}{150 \times 10^2 \times 431.3} \\ &= 5.74 \times 10^{-8} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2 \end{aligned}$$

上記、網の面積と同一の面積をもつ円板線源を考える（エネルギー 0.25 MeV および線源の近くという条件からは形状の違いが大きく寄与するとは思われない）。

$$R = 1,435 \text{ cm}$$

$$h = 30 \text{ cm}$$

$$D = 1.07 \frac{\mu_{a,t} \bar{E} r}{\rho t} [E_1(\mu t) - E_1(\mu t \sec \varphi)]$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{R}{h} = 88.8 \text{ 度}$$

$$\sec \varphi = 4.78$$

$$\mu = 1.46 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$t = 30 \text{ cm}$$

$$E_1(\mu t) = E_1(4.38 \times 10^{-3}) = 4.9$$

$$E_2(\mu t \sec \varphi) = E_1(0.209) = 1.19$$

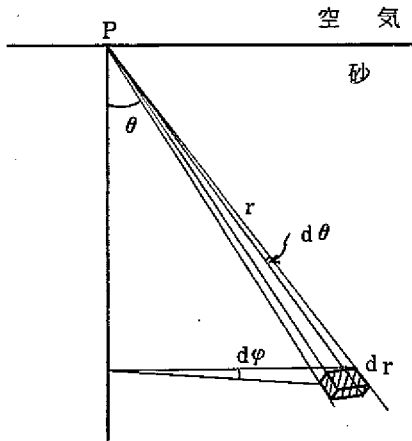
$$\mu_{a,t} = 0.03 \text{ cm}^{-1}$$

$$D = 1.71 \times 10^{-6} \text{ mrem/hr}$$

$$D_y = 3.42 \times 10^{-3} \text{ mrem/年} \quad (2,000 \text{ hr/年})$$

3. 被曝計算式の誘導例 (r線)

(1) 海岸の砂からの被曝 (半無限体積線源)



微小体積 dV は、次式で与えられる。

$$dV = r d\theta \cdot r \sin\theta d\phi \cdot dr$$

$$= r^2 \sin\theta dr d\theta d\phi$$

単位体積あたりの放射能濃度を χ (Ci/単位体積) とすると点 P での線量率 Dr は、次の式で求められる。

$$Dr = k \int_0^\infty \int_0^{\pi/2} \int_0^{2\pi} \frac{\bar{E}r}{4\pi r^2} \chi e^{-\mu_s r} B dV$$

$\bar{E}r$... 平均エネルギー (MeV)

k ... 換算係数 = $2.14 \mu t$

μt ... 組織の全吸収係数 (cm^{-1})

μ_s ... 砂の全吸収係数 (cm^{-1})

B ... ビルドアップ係数

$$1 + a\mu_s r^b \mu_s r \quad (a, b \text{ は定数})$$

$$Dr = k \int_0^\infty \int_0^{\pi/2} \int_0^{2\pi} \frac{\bar{E}r}{4\pi r^2} \chi e^{-\mu_s r} B dV$$

$\bar{E}r$... 平均エネルギー (MeV)

k ... 換算係数 = $2.14 \mu t$

μt ... 組織の全吸収係数 (cm^{-1})

μ_s ... 砂の全吸収係数 (cm^{-1})

B ... ビルドアップ係数

$$1 + a\mu_s r^b \mu_s r \quad (a, b \text{ は定数})$$

$$Dr = k \int_0^\infty \int_0^{\pi/2} \int_0^{2\pi} \frac{\bar{E}r}{4\pi r^2} \chi e^{-\mu_s r} (1 + a\mu_s r^b \mu_s r) \cdot r^2 \sin\theta dr d\theta d\phi$$

$$= k \frac{\bar{E}r}{4\pi} \chi \int_0^\infty \int_0^{\pi/2} 2\pi e^{-\mu_s r} (1 + a\mu_s r^b \mu_s r) \cdot \sin\theta dr d\theta d\phi$$

$$= \frac{k}{2} \bar{E}r \chi \int_0^\infty e^{-\mu_s r} (1 + a\mu_s r^b \mu_s r) dr \int_0^{\pi/2} \sin\theta d\theta$$

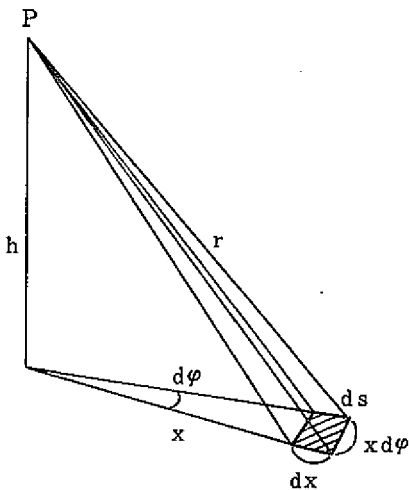
$$\int_0^{\pi/2} \sin\theta \cdot d\theta = 1$$

$$\begin{aligned}
 Dr &= \frac{k}{2} \bar{E}r \chi \int_0^\infty e^{-\mu_a r} (1 + a \mu_a r e^{b \mu_a r}) dr \\
 &= \frac{k}{2} \bar{E}r \chi \left\{ \int_0^\infty e^{-\mu_a r} dr + a \int_0^\infty \mu_a r e^{-(1-b) \mu_a r} dr \right\} \\
 &= \frac{k}{2} \bar{E}r \chi \left\{ \frac{1}{\mu_a} + \frac{a}{(1-b)^2 \mu_a} \int_0^\infty (1-b) \mu_a r e^{-(1-b) \mu_a r} d(1-b) \mu_a r \right\}
 \end{aligned}$$

$$\int_0^\infty t e^{-t} dt = \left[-t e^{-t} \right]_0^\infty + \int_0^\infty e^{-t} dt = 1 \quad \text{となるから,}$$

$$\begin{aligned}
 Dr &= \frac{k}{2} \bar{E}r \chi \left\{ \frac{1}{\mu_a} + \frac{a}{(1-b)^2 \mu_a} \right\} \\
 &= \frac{k}{2 \mu_a} \bar{E}r \chi \left\{ 1 + \frac{a}{(1-b)^2} \right\} \\
 &= 1.07 \mu_a \frac{\bar{E}r \chi}{\mu_a} \left\{ 1 + \frac{a}{(1-b)^2} \right\}
 \end{aligned}$$

(2) 船体からの被曝 (有限平面線源)



微小面積 ds は、次式で与えられる。

$$ds = dx \cdot x d\phi$$

単位面積あたりの放射能汚染密度を χ (Ci/単位面積) とすると、点 P での線量率 Dr は、次の式で求められる。

$$Dr = k \int_0^{x_0} \int_0^{2\pi} \frac{\bar{E}r \chi}{4\pi r^2} e^{-\mu_a r} \cdot B ds$$

$$B = 1 + a \mu_a r e^{b \mu_a r}$$

$$Dr = \frac{k}{4\pi} \bar{E}r \chi \int_0^{x_0} \frac{e^{-\mu_a r}}{r^2} (1 + a \mu_a r e^{b \mu_a r}) \cdot 2\pi x dx$$

$$r^2 = x^2 + h^2 \quad \text{より} \quad r dr = x dx$$

$$x = 0 \quad \rightarrow \quad r = h$$

$$x = x_0 \quad \rightarrow \quad r = \sqrt{x_0^2 + h^2}$$

$$Dr = \frac{k}{2} \bar{E}r \chi \int_h^{\sqrt{x_0^2 + h^2}} \frac{e^{-\mu_a r}}{r^2} (1 + a \mu_a r e^{b \mu_a r}) r dr$$

$$\int_h^{\sqrt{x_0^2 + h^2}} \frac{e^{-\mu_a r}}{r} dr = \int_h^\infty \frac{e^{-\mu_a r}}{r} dr - \int_{\sqrt{x_0^2 + h^2}}^\infty \frac{e^{-\mu_a r}}{r} dr = E_1(\mu_a h) - E_1(\mu_a \sqrt{x_0^2 + h^2})$$

$$a\mu_a \int_h^{\sqrt{x_0^2 + h^2}} e^{-\mu_a(1-b)r} dr = -\frac{a\mu_a}{\mu_a(1-b)} \left[e^{-\mu_a(1-b)r} \right]_h^{\sqrt{x_0^2 + h^2}}$$

$$= \frac{a\mu_a}{\mu_a(1-b)} \left\{ e^{-\mu_a(1-b)h} - e^{-\mu_a(1-b)\sqrt{x_0^2 + h^2}} \right\}$$

$$Dr = \frac{k}{2} \bar{E}r\chi \left[E_1(\mu_a h) - E_1(\mu_a \sqrt{x_0^2 + h^2}) \right]$$

$$+ \frac{a}{1-b} \left\{ e^{-\mu_a(1-b)h} - e^{-\mu_a(1-b)\sqrt{x_0^2 + h^2}} \right\}$$

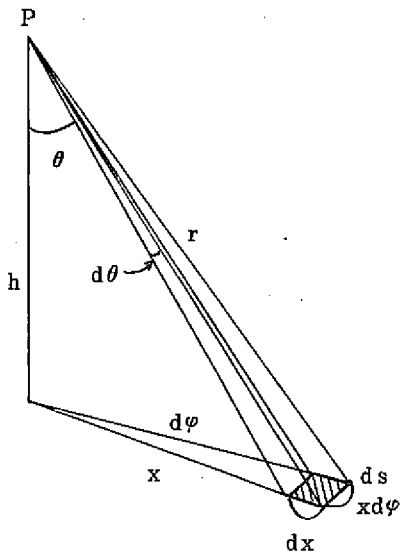
$$k = 2.14 \mu t$$

$$Dr = 1.07 \mu t \bar{E}r\chi \left[E_1(\mu_a h) - E_1(\mu_a \sqrt{x_0^2 + h^2}) \right]$$

$$+ \frac{a}{1-b} \left\{ e^{-(1-b)\mu_a h} - e^{-(1-b)\mu_a \sqrt{x_0^2 + h^2}} \right\}$$

(3) 海面からの被曝 (無限平面線源)

微小面積 ds は次式で与えられる。



$$ds = dx \cdot x d\phi$$

単位面積あたりの放射能汚染密度を χ (Ci/単位面積) とすると、点 P での線量率 Dr は、次の式で求められる。

$$Dr = k \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \frac{\bar{E}r\chi}{4\pi r^2} e^{-\mu_a r} B x dx d\phi$$

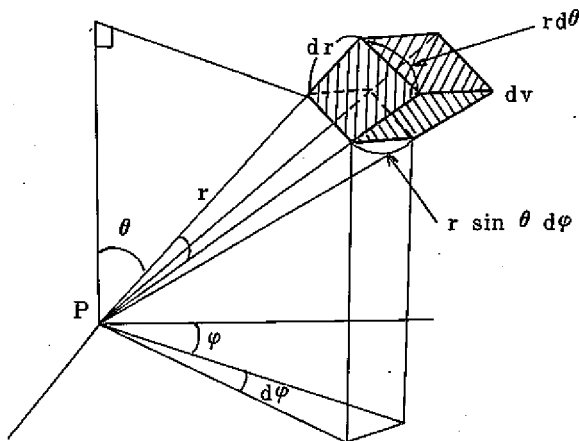
$$B = 1 + a\mu_a r e^{b\mu_a r}$$

「船体からの被曝」と同様な手法により

$$Dr = \frac{k}{2} \bar{E}r\chi \int_h^\infty \frac{e^{-\mu_a r}}{r^2} (1 + a\mu_a r e^{b\mu_a r}) r dr$$

$$= 1.07 \mu t \bar{E}r\chi \left[E_1(\mu_a h) + \frac{a}{1-b} e^{-(1-b)\mu_a h} \right]$$

(4) 海水中での被曝 (無限体積線源)



微小体積 dV は、次式で与えられる。

$$dV = dr \cdot r d\theta \cdot r \sin\theta d\phi$$

$$= r^2 \sin\theta dr d\theta d\phi$$

単位面積あたりの放射能濃度を χ (Ci/単位体積) とすると、点 P での線量率 Dr は、次の式で求められる。

$$Dr = k \int_0^\infty \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \frac{\bar{E}r}{4\pi r^2} \chi \cdot e^{-\mu_w r} \cdot B dV$$

μ_w ... 水の全吸収係数 (cm^{-1})

$$B = 1 + a\mu_w r e^{b\mu_w r}$$

$$Dr = k \int_0^\infty \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \frac{\bar{E}r}{4\pi r^2} \chi e^{-\mu_w r} (1 + a\mu_w r e^{b\mu_w r}) r^2 \sin\theta dr d\theta d\varphi$$

$$= \frac{k}{4\pi} \bar{E}r \chi \int_0^\infty \int_0^\pi \int_0^{2\pi} e^{-\mu_w r} (1 + a\mu_w r e^{b\mu_w r}) \sin\theta dr d\theta d\varphi$$

$$= k \bar{E}r \chi \int_0^\infty e^{-\mu_w r} (1 + a\mu_w r e^{b\mu_w r}) dr$$

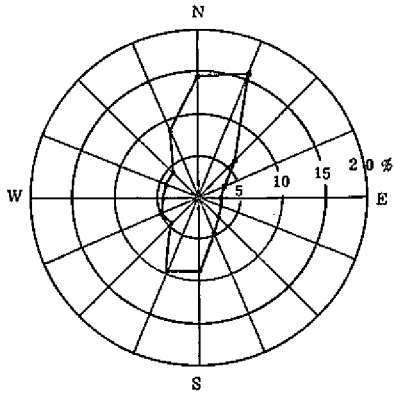
$$\int_0^\infty e^{-\mu_w(1-b)r} r dr = \left| -\frac{1}{\mu_w(1-b)} e^{-\mu_w(1-b)r} r \right|_0^\infty + \frac{1}{\mu_w(1-b)} \int_0^\infty e^{-\mu_w(1-b)r} dr$$

よって

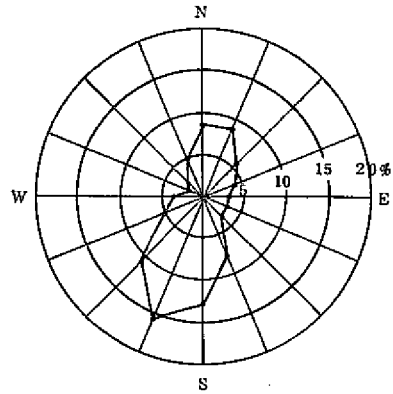
$$Dr = 2.14 \frac{\mu_t}{\mu_w} \bar{E}r \chi \left\{ 1 + \frac{a}{(1-b)^2} \right\}$$

4. 流向頻度および海水中放射能濃度算出に使用した式

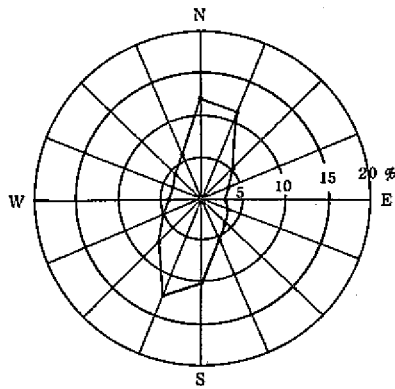
4-1. 流向頻度



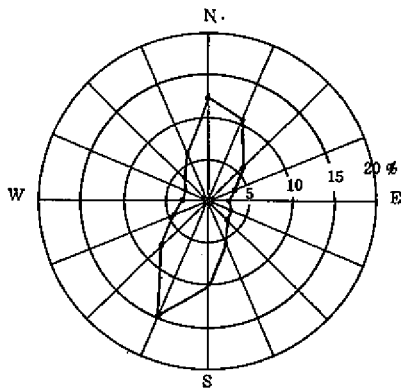
3月～5月
春 2,626件
春季流向頻度



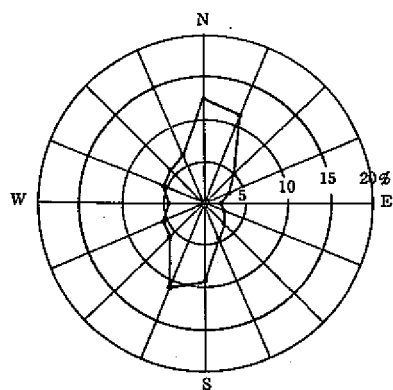
6月～8月
夏 2,297件
夏季流向頻度



通年 11,088件
通年流向頻度



9月～11月
秋 2,722件
秋季流向頻度



12月～2月
冬 3,443件
冬季流向頻度

4-2. 海水中放射能濃度の算出に使用した式

(1). 海岸付近における濃度

放出地点から評価地点までの距離を X cm, 廃液層の厚さを H cm, 流速を u cm/sec, 放射能放出量を q Ci/sec および流向頻度を η % とすれば, 評価地点での海水中の放射能濃度は次式で表わされる。

$$C (\text{Ci/cm}^3) = \frac{0.75}{X} \cdot \frac{q}{H} \cdot \frac{\eta}{100}$$

阿字ヶ浦を評価地点とすれば,

$$X = 5.5 \times 10^5 \text{ cm}$$

$$H = 460 \text{ cm}$$

$$q = 0.722 (\text{Ci/day}) \times \frac{1}{86,400} \\ = 8.36 \times 10^{-6} \text{ Ci/sec}$$

$$\eta = 15.7 \%$$

$$C = 3.89 \times 10^{-15} \text{ Ci/cm}^3$$

(2). 放出地点近傍の平均濃度

放出地点で直径 X cm 円内の平均濃度は,

$$C (\text{Ci/cm}^3) = \frac{4q}{\pi uXH}$$

$$u = 10 \text{ cm/sec}$$

$$X = 1 \times 10^5 \text{ cm} (1 \text{ Km}) \text{ では,}$$

$$C = 2.32 \times 10^{-14} \text{ Ci/cm}^3$$

5. 放出廃液の組成と放出モードについて

廃液中に含まれる放射能とその放出モードは以下の通りである。

放出放射能	$260 \text{ Ci/年} = 65 \text{ Ci/90日}$ $= 0.722 \text{ Ci/日}$
放出廃液量	300 ton/日
放出廃液中放射能	$2.4 \times 10^{-8} \mu\text{Ci/cm}^3$
放出時間	6時間 (実際の計算では、 0.722 Ci/日 で放出されるとした。)

$$0.722 \times \frac{1}{6} \times \frac{1}{4} = 3 \times 10^{-2} \mu\text{Ci/時}$$

廃液の組成

	γ	β
Ru	53.85%	54.88%
Ce	20.92%	28.85%
Sr	2.0%	2.0%
Zr/Nb	19.23%	10.15%
Cs	4.0%	4.08%

6. 計算に必要なパラメータ等

○エネルギーの関数となる係数等

(1) r 線による外部被曝

共通に使用されているもの、

記号	意味
μ_a	空気的全吸収係数 (cm^{-1})
μ_a, t	組織の真吸収係数 (cm^{-1})
μ_a, w	水 " (cm^{-1})
a, b	再生係数を計算するためのパラメータ

i). 海岸砂

$m\mu_a$ 砂の全吸収係数 (cm^2/g)

(ALの値)

ii). 漁網

K 換算係数 (R/hr) / ($photon/cm^2 \cdot sec$)

$$K = \frac{(\text{エネルギー (MeV/photon)}) \times (1 (\text{photon/cm}^2 \cdot \text{sec})) \times (\text{空気のエネルギ吸収係数 (cm}^2/g \text{ air)})}{(1 (\text{photons/cm}^2 \cdot \text{sec})) \times 86.9 (\text{ergs/g-air-R})}$$

$$\times 3,600 (\text{sec/hr}) \times 1.6 \times 10^{-8} (\text{ergs/MeV})$$

$$E_2(\mu_a, r) = \mu_a r \int_{\mu_a r}^{\infty} \frac{e^{-t}}{t^2} dt \quad \dots \mu_a \text{ がエネルギーの関数であるため。}$$

iii). 船体

$$E_1(\mu_a, h) = \int_{\mu_a h}^{\infty} \frac{e^{-t}}{t} dt \quad \dots \mu_a \text{ がエネルギーの関数であるため。}$$

$$E_1(\mu_a \sqrt{x_0^2 + h^2}) = \int_{\mu_a \sqrt{x_0^2 + h^2}}^{\infty} \frac{e^{-t}}{t} dt$$

iv). 海面

$$E_1(\mu_a, h) = \int_{\mu_a h}^{\infty} \frac{e^{-t}}{t} dt \quad \mu_a \text{ がエネルギーの関数であるため。}$$

(2) β 線による外部被曝

共通に使用されているもの

記号	意味	出典
μ_t	組織のエネルギー吸収係数	JAERI 1065
μ_w	水	「外部被曝による β 線吸収線量の 評価」 1964
μ_a	空気	

$$\mu_t = \frac{18.6}{(E_0 - 0.036)^{1.37}} \quad (\text{cm}^2/\text{g}) \quad (= \mu_w)$$

$$\mu_a = \frac{16.0}{(E_0 - 0.036)^{1.4}} \quad (\text{cm}^2/\text{g})$$

E_0 … 最大エネルギー (MeV)

i). 海岸砂

$m\mu_s$ 砂のエネルギー吸収係数

$$m\mu_s = 17 \cdot E_0^{-1.48} \quad (\text{cm}^2/\text{g})$$

E_0 … 最大エネルギー (MeV)

ii). 漁網

μ_{net} 漁網のエネルギー吸収係数 (cm^2/g)

(μ_t と同様にして算出)

$$\int_{d\mu_t}^{\infty} E_1(y) dy = E_2(d\mu_t)$$

iii). 船体

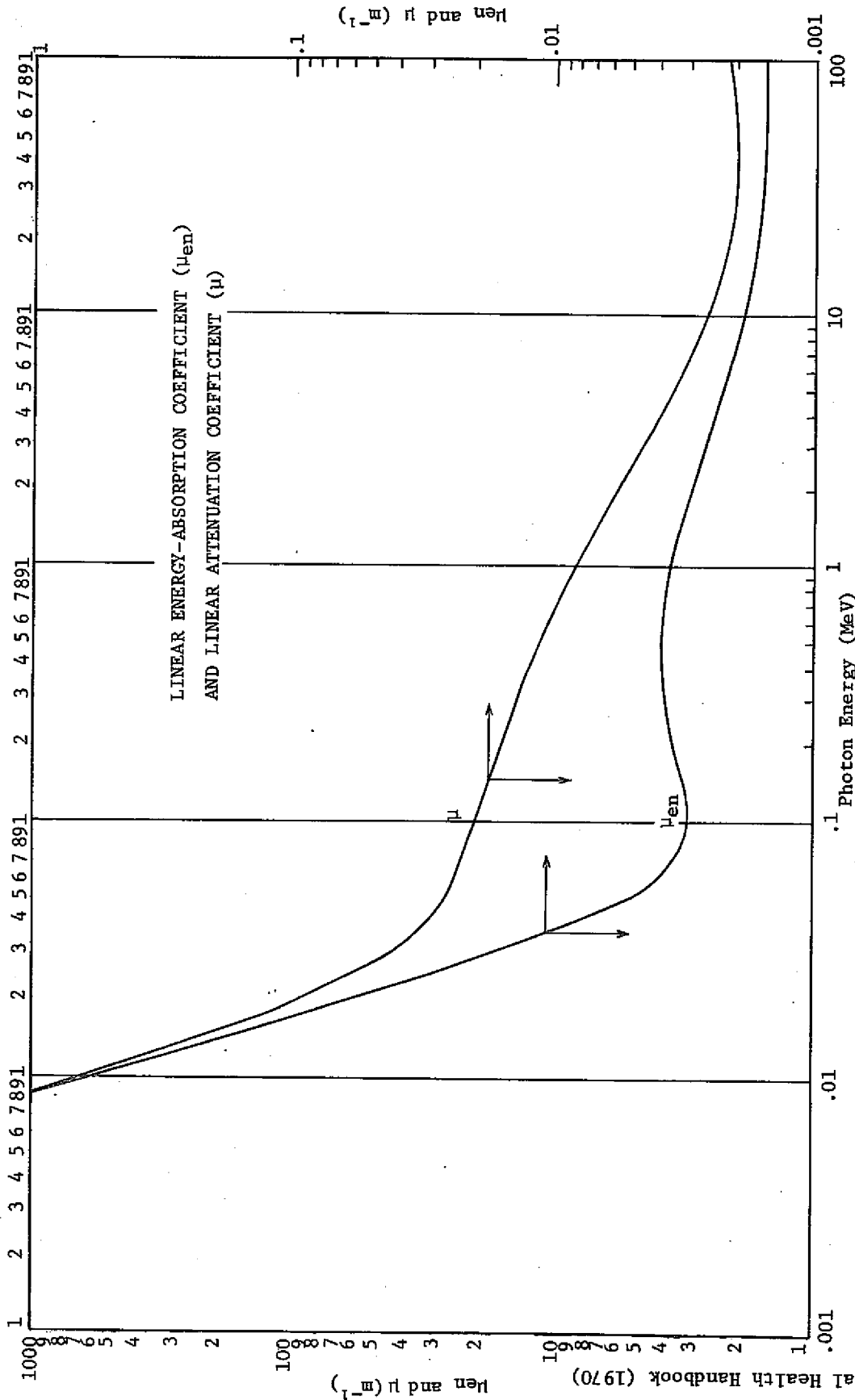
$E_1(d\mu_t)$ μ_t がエネルギーの函数であるため。

iv). 海面

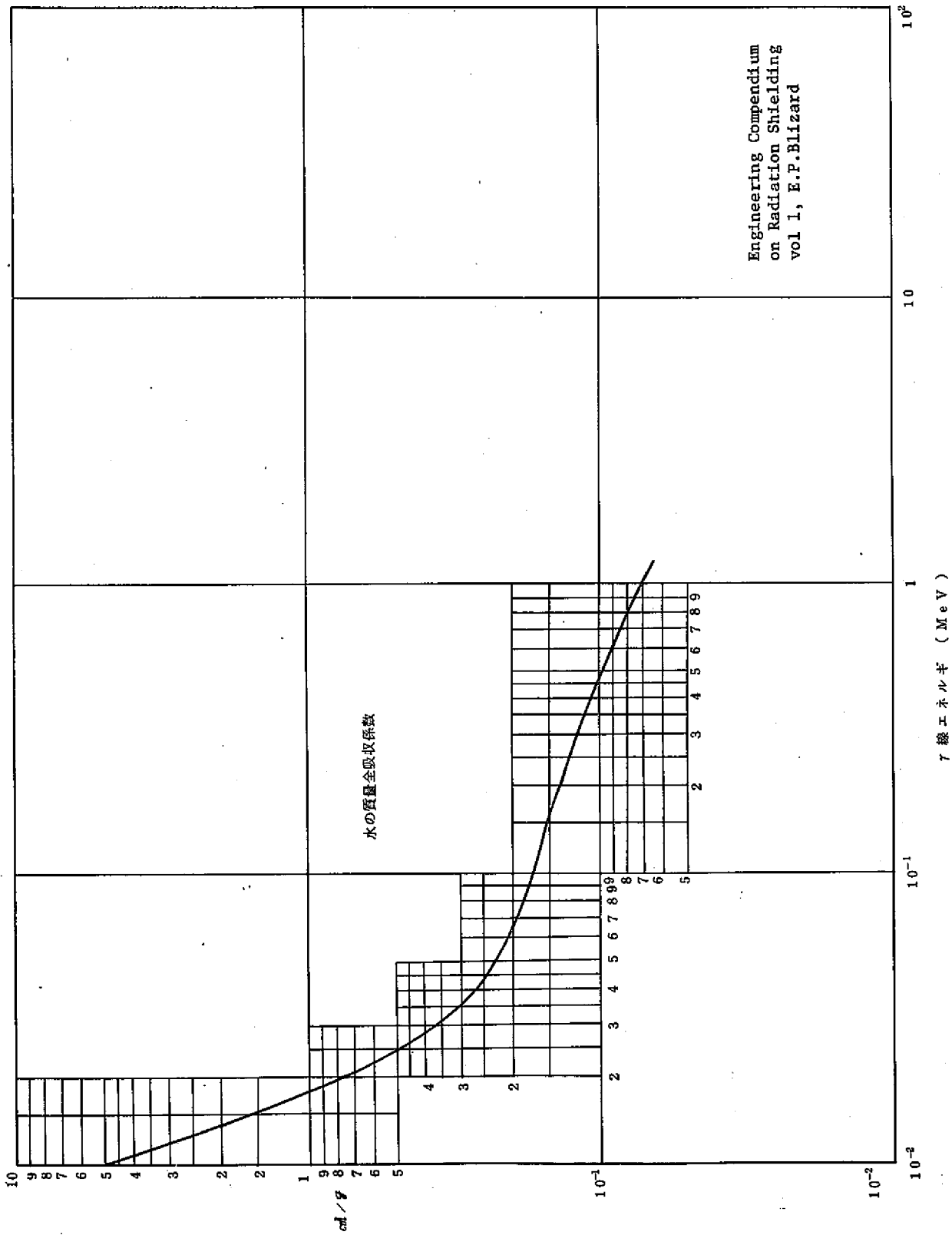
$E_1(\mu_s h + d\mu_t)$ μ_s, μ_t がエネルギーの函数であるため。

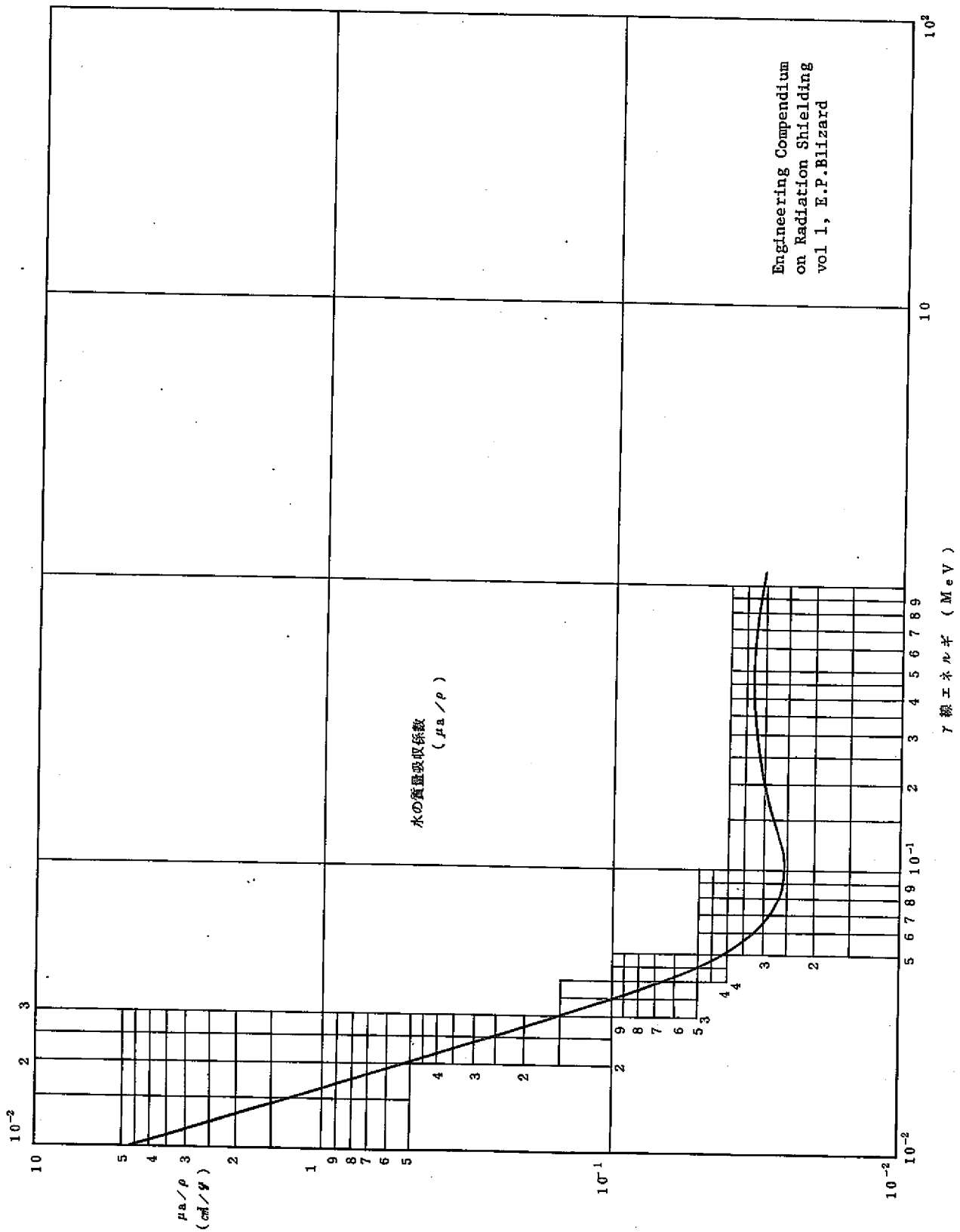
v). 海水中

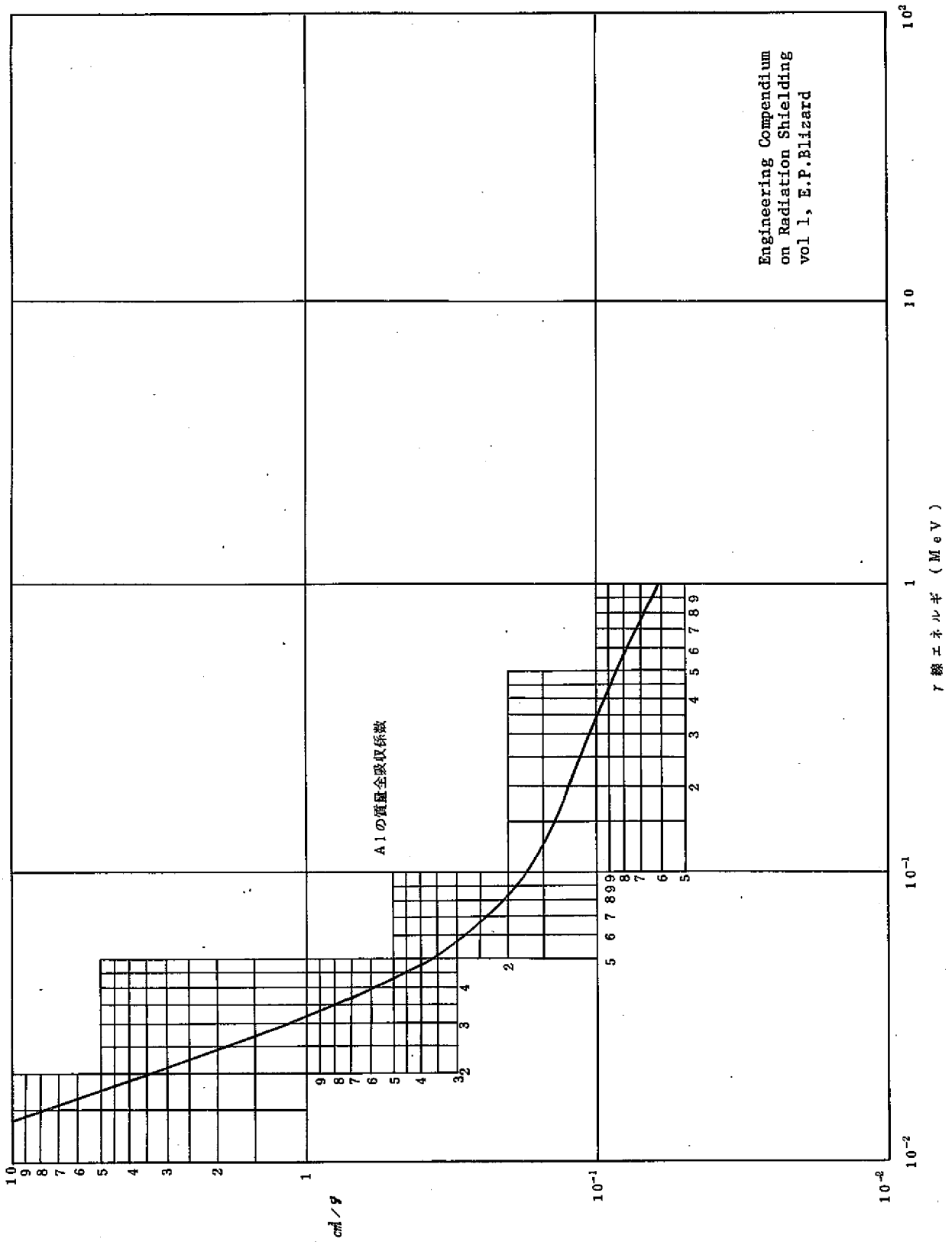
$$\int_{d\mu_t}^{\infty} E_1(y) dy = E_2(d\mu_t)$$



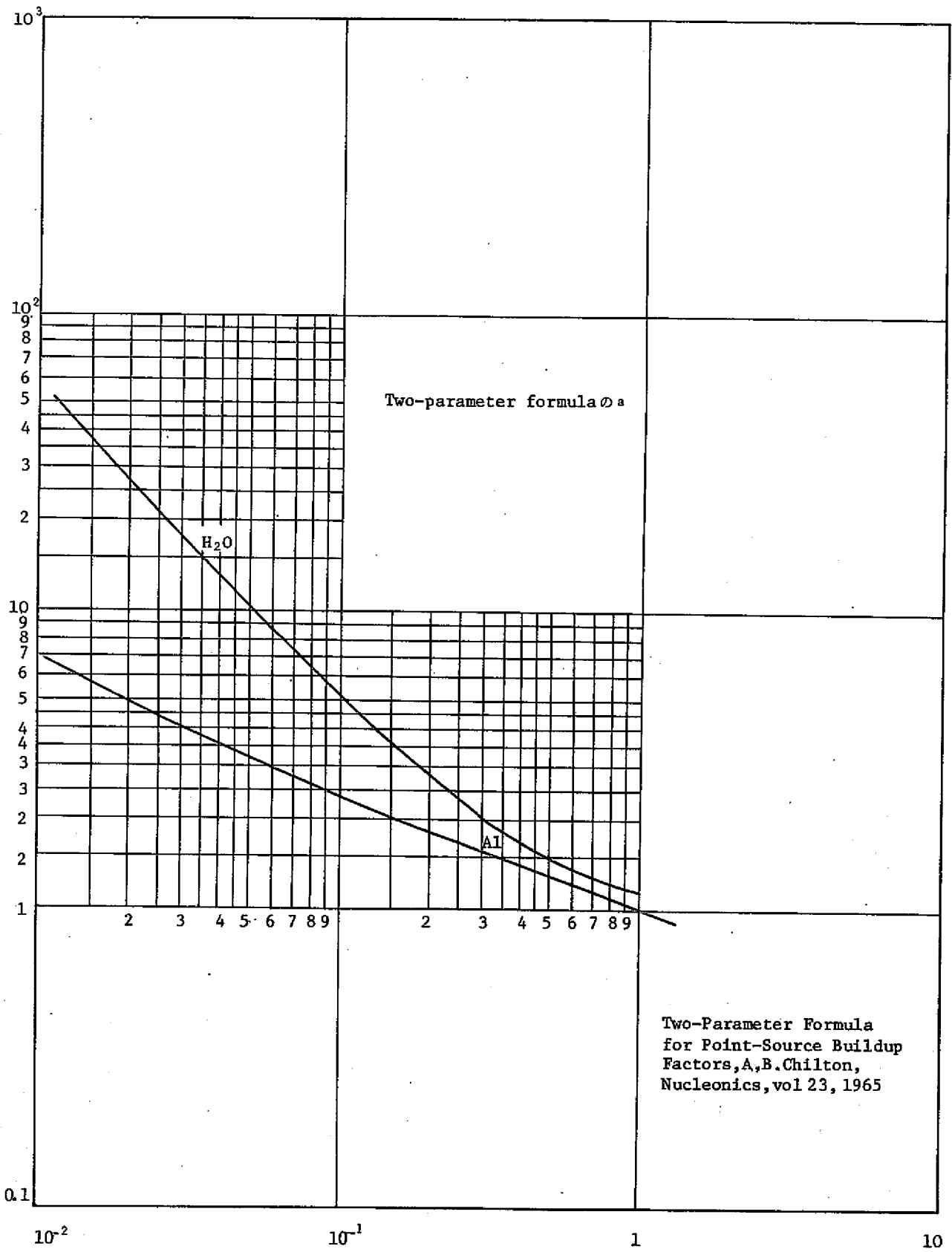
Linear energy-absorption coefficient (μ_{en}) and linear attenuation coefficient (μ) for air at 0°C. and 760 mm in units of inverse meters as functions of photon energy in MeV. The attenuation coefficients from .003 to 100 MeV were derived from mass attenuation coefficients (with coherent) given in NBS Circular 583, 1957, and its supplement, 1959. The energy-absorption coefficients for .01 to 100 MeV were derived from data published in Engineering compendium on Radiation Shielding, Vol. 1 (1968), pp. 183 and 184. The μ_{en} for the range .003 to .01 are based on the μ values adjusted for Compton and coherent scattering. The range below .003 is extrapolated and involves an uncertainty of about ± 250 at .001, ± 50 at .0015, and ± 15 at .002.

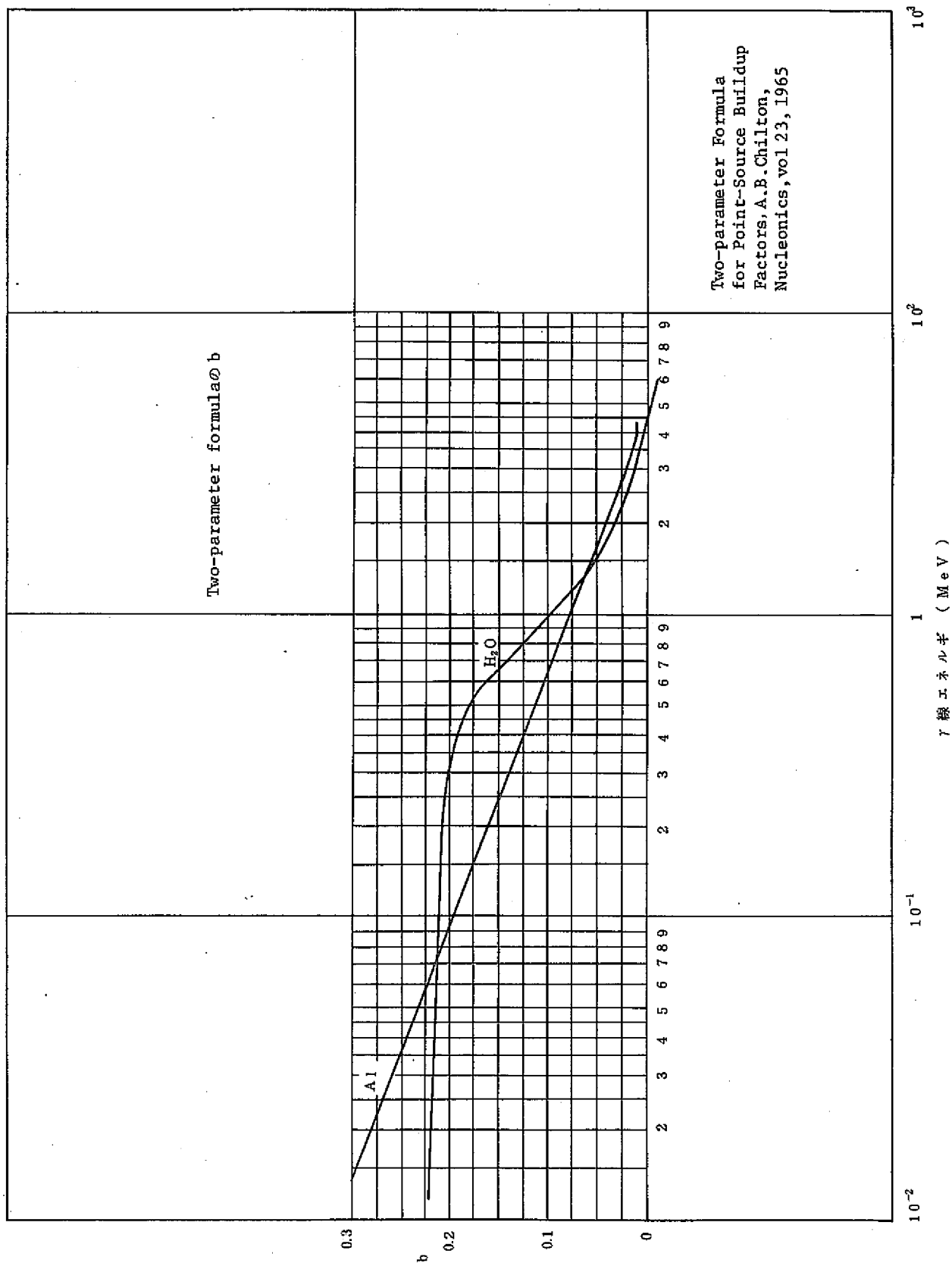






Engineering Compendium
on Radiation Shielding
vol 1, E.P.Blizard





指数积分表 $E_1(b) = \int_b^{\infty} \frac{e^{-t}}{t} dt, \quad E_2(b) = \int_b^{\infty} E_1(t) dt$

b	$E_1(b)$	$E_2(b)$
0.001	6.332	0.993
0.002	5.639	0.987
0.003	5.235	0.981
0.004	4.948	0.976
0.005	4.726	0.971
0.010	4.038	0.950
0.015	3.637	0.930
0.020	3.355	0.913
0.025	3.137	0.897
0.030	2.959	0.882
0.035	2.810	0.867
0.040	2.681	0.854
0.045	2.568	0.840
0.050	2.468	0.828
0.055	2.377	0.816
0.060	2.295	0.804
0.065	2.220	0.793
0.070	2.151	0.782
0.075	2.087	0.771
0.080	2.027	0.761
0.085	1.971	0.751
0.090	1.919	0.741
0.095	1.869	0.732
0.100	1.823	0.723
0.110	1.737	0.705
0.120	1.660	0.688
0.130	1.589	0.672
0.140	1.524	0.656
0.150	1.464	0.641
0.160	1.409	0.627
0.170	1.358	0.613
0.180	1.310	0.600
0.190	1.265	0.587

b	$E_1(b)$	$E_2(b)$
0.200	1.223	0.574
0.210	1.183	0.562
0.220	1.145	0.551
0.230	1.110	0.539
0.240	1.076	0.528
0.250	1.044	0.518
0.260	1.014	0.507
0.270	0.985	0.498
0.280	0.957	0.488
0.290	0.931	0.478
0.300	0.906	0.469
0.310	0.882	0.460
0.320	0.858	0.452
0.330	0.836	0.443
0.340	0.815	0.435
0.350	0.794	0.427
0.360	0.775	0.419
0.370	0.755	0.411
0.380	0.737	0.404
0.390	0.719	0.397
0.400	0.702	0.389
0.410	0.682	0.382
0.420	0.670	0.376
0.430	0.655	0.369
0.440	0.640	0.363
0.450	0.625	0.356
0.460	0.611	0.350
0.470	0.598	0.344
0.480	0.585	0.338
0.490	0.572	0.332

b	E₁ (b)	E₂ (b)
0.500	0.560	0.327
0.510	0.548	0.321
0.520	0.536	0.316
0.530	0.525	0.310
0.540	0.514	0.305
0.550	0.503	0.300
0.560	0.493	0.295
0.570	0.483	0.290
0.580	0.473	0.286
0.590	0.464	0.281
0.600	0.454	0.276
0.610	0.445	0.272
0.620	0.437	0.267
0.630	0.428	0.263
0.640	0.420	0.259
0.650	0.412	0.255
0.660	0.404	0.251
0.670	0.396	0.247
0.680	0.388	0.243
0.690	0.381	0.239
0.700	0.374	0.235
0.710	0.367	0.231
0.720	0.360	0.228
0.730	0.353	0.224
0.740	0.347	0.221
0.750	0.340	0.217
0.760	0.334	0.214
0.770	0.328	0.210
0.780	0.322	0.207
0.790	0.316	0.204

b	$E_1(b)$	$E_2(b)$
0.800	0.311	0.201
0.810	0.305	0.198
0.820	0.300	0.195
0.830	0.294	0.192
0.840	0.289	0.189
0.850	0.284	0.186
0.860	0.279	0.183
0.870	0.274	0.180
0.880	0.269	0.178
0.890	0.265	0.175
0.900	0.260	0.172
0.910	0.256	0.170
0.920	0.251	0.167
0.930	0.247	0.165
0.940	0.243	0.162
0.950	0.239	0.160
0.960	0.235	0.158
0.970	0.231	0.155
0.980	0.227	0.153
0.990	0.223	0.151
1.000	0.219	0.149
1.050	0.202	0.138
1.100	0.186	0.128
1.150	0.172	0.119
1.200	0.158	0.111
1.250	0.146	0.104
1.300	0.136	9.647E-2
1.350	0.126	8.995E-2
1.400	0.116	8.392E-2
1.450	0.108	7.832E-2
1.500	0.100	7.313E-2
1.550	9.293E-2	6.831E-2

b	$E_1(b)$	$E_2(b)$
1.600	8.635E-2	6.383E-2
1.650	8.029E-2	5.967E-2
1.700	7.470E-2	5.580E-2
1.750	6.953E-2	5.220E-2
1.800	6.475E-2	4.884E-2
1.850	6.034E-2	4.572E-2
1.900	5.617E-2	4.275E-2
1.950	5.238E-2	4.004E-2
2.000	4.887E-2	3.751E-2
2.050	4.561E-2	3.515E-2
2.100	4.259E-2	3.295E-2
2.150	3.978E-2	3.089E-2
2.200	3.717E-2	2.897E-2
2.250	3.475E-2	2.717E-2
2.300	3.249E-2	2.549E-2
2.350	3.039E-2	2.392E-2
2.400	2.843E-2	2.246E-2
2.450	2.661E-2	2.108E-2
2.500	2.491E-2	1.979E-2
2.550	2.333E-2	1.859E-2
2.600	2.185E-2	1.746E-2
2.650	2.047E-2	1.640E-2
2.700	1.918E-2	1.541E-2
2.750	1.798E-2	1.449E-2
2.800	1.686E-2	1.362E-2
2.850	1.581E-2	1.280E-2
2.900	1.483E-2	1.203E-2
3.050	1.225E-2	1.001E-2
3.100	1.150E-2	9.418E-3
3.150	1.079E-2	8.862E-3
3.200	1.014E-2	8.339E-3
3.250	9.519E-3	7.848E-3

b	E_1 (b)	E_2 (b)
3.300	8.942E-3	7.387E-3
3.350	8.401E-3	6.954E-3
3.400	7.894E-3	6.547E-3
3.450	7.419E-3	6.164E-3
3.500	6.973E-3	5.805E-3
3.550	6.556E-3	5.467E-3
3.600	6.164E-3	5.149E-3
3.650	5.796E-3	4.850E-3
3.700	5.451E-3	4.569E-3
3.750	5.121E-3	4.300E-3
3.800	4.818E-3	4.052E-3
3.850	4.533E-3	3.818E-3
3.900	4.265E-3	3.598E-3
3.950	4.014E-3	3.392E-3
4.000	3.778E-3	3.197E-3
4.050	3.556E-3	3.014E-3
4.100	3.348E-3	2.841E-3
4.150	3.152E-3	2.679E-3
4.200	2.968E-3	2.526E-3
4.250	2.795E-3	2.382E-3
4.300	2.632E-3	2.247E-3
4.350	2.479E-3	2.119E-3
4.400	2.336E-3	1.999E-3
4.450	2.200E-3	1.885E-3
4.500	2.073E-3	1.779E-3
4.550	1.954E-3	1.678E-3
4.600	1.841E-3	1.583E-3
4.650	1.735E-3	1.494E-3
4.700	1.635E-3	1.410E-3
4.750	1.541E-3	1.330E-3
4.800	1.453E-3	1.256E-3
4.850	1.370E-3	1.185E-3
4.900	1.292E-3	1.119E-3
4.950	1.218E-3	1.056E-3
5.000	1.149E-3	9.967E-4

7. 参 照 文 献

- 1). 「試算分科会報告書(Ⅲ) - 放射性廃棄物の海洋放出による外部被曝線量の試算 -」昭和43年12月, 原子力安全研究協会, 海洋放出調査特別委員会, 試算分科会
- 2). 茨城県農林水産統計年報(昭和49~50年)
- 3). Nuclear Data Tables, vol 8, No. 1-2, 1970, Academic Press, New York.
- 4). Engineering Compendium on Radiation Shielding, vol 1, E.P. Blizard et. al., Springer-Verlag, 1968.
- 5). Radiological Health Handbook, 1970, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service.
- 6). JAERI 1065, 「外部被曝による β 線吸収線量の評価」, 1964, 日本原子力研究所
- 7). R.E. Cooper, EGAD-A computer program to compute dose integrals from External Gamma Emitters, DP-1304, 1972.

Ⅳ. 付 録

「再処理施設からの低レベル廃液の海への
放出に係る安全性に関する書類」添付資料
(赤本)より抜粋 (P.95 ~101)

4.4 外部被ばく評価モデル

海岸の砂からの被ばく等、海洋放出廃液に由来する外部被ばくの評価は、以下に示す計算式を用いて行なった。その他、砂の汚染係数は次表の値を用い、船体表面のうち汚染密度は、海水中濃度の10倍とした。また、漁網の汚染係数はすべての核種について4,000とした。

第4.4.1表

砂の汚染係数

Cl, Ru	1,000
Zr, Nb	500
Cs,	100
Sr,	10

なお、海浜利用にともなう被ばくは、海水の平均濃度をもっとも高くなると考えられる阿字ヶ浦海水浴場までの距離および流向頻度を想定して計算した。

以下の説明中共通に用いた記号は次のとおりである。

γ線について

\bar{E}_γ = 全核種平均エネルギー (MeV)

$\mu_{a,t}$ = 組織の真吸収係数 (cm^{-1})

$\mu_{a,w}$ = 水の真吸収係数 (cm^{-1})

μ_a = 空気の全吸収係数 (cm^{-1})

a, b = 再生係数. $1 + a\mu_t e^{-b\mu_t}$ を定める係数

β線について

\bar{E}_β = 平均エネルギーの全核種平均 (MeV)

μ_t = 組織のエネルギー吸収係数 (cm^{-1})

μ_w = 水のエネルギー吸収係数 (cm^{-1})

μ_a = 空気のエネルギー吸収係数 (cm^{-1})

その他

$$E_1(b) = \int_b^\infty \frac{e^{-t}}{t} dt$$

$$E_2 (b) = b \int_b^{\infty} \frac{e^{-t}}{t^2} dt$$

h = 高さ (cm)

d = 皮ふ不感層の厚さ (cm)

ρt = 組織の密度 (g/cm^3)

D = 吸収または照射線量率

$$\text{係数 } 1.07 = 3.7 \times 10^4 \times 1.6 \times 10^{-6} \times 3.600 \times \frac{1}{100} \times \frac{1}{2}$$

χ = 線源の放射能濃度 ($\mu Ci/cm^3$, $\mu Ci/cm^2$, または $\mu Ci/g$)

(1) 海岸の砂からの被ばく線量計算に用いた式と定数

(a) γ 線被ばく

$$D = 1.07 \frac{\mu_{a,t} \bar{E}_\gamma \chi}{\rho t \rho_s m \mu_s} \left\{ 1 + \frac{a}{(1-b)^2} \right\} \quad (\text{rad/hr})$$

χ = 砂の放射濃度 ($\mu Ci/g$)

$\bar{E}_\gamma = 0.18$ (MeV)

$\mu_{a,t} = 0.029$ (cm^{-1})

$m \mu_s$ = 砂の全吸収係数 = $0.12 cm^2/g$ (A.L.の値)

$\rho t = 1.0$ (g/cm^3)

ρ_s = 砂の密度 = 1.7 (g/cm^3)

$a = 1.85$ (A.L.の値)

$b = 0.17$ (A.L.の値)

年間被ばく時間 = 500 (hr)

(b) β 線被ばく

$$D = 1.07 \frac{\mu_t \bar{E}_\beta \chi}{\rho t \rho_s m \mu_s} \int_{d \cdot ut}^{\infty} E_1(y) dy \quad (\text{rad/hr})$$

χ = 砂の放射能濃度 ($\mu Ci/g$)

$\bar{E}_\beta = 0.61$ (MeV)

$\mu_t = 11.0$ (cm^{-1})

$m \mu_s$ = 砂のエネルギー吸収係数 = 9.5 (cm^2/g)

$\rho t = 1.0$ (g/cm^3)

$\rho_s = 1.7$ (g/cm^3)

$d = 0.007$ (cm)

年間被ばく時間 = 500 (hr)

(2) 漁網からの被ばく線量計算に用いた式と定数

(a) γ 線被ばく

$$D = \frac{K \cdot \chi \cdot 3.7 \times 10^4 \cdot F \cdot B \cdot E_2 (\mu ar)}{2 \cdot \mu_{net}} \quad (\text{R/hr})$$

$$\chi = 232 \times 10^{-8} \times 4000 \times \frac{0.36}{1.6} \quad (\mu\text{Ci/cm}^3)$$

$$K = \text{換算係数} = 4.9 \times 10^{-7} \quad (\text{R/hr}) / (\text{photon/cm}^2 \cdot \text{sec})$$

($\bar{E}_\gamma = 0.25 \text{ Mev}$ の値)

$$\mu_a = 1.46 \times 10^{-4} \quad (\text{cm}^{-1})$$

$$r = \text{漁網表面からの距離} = 100 \quad (\text{cm})$$

$$B = \text{再生係数} = 7.0$$

$$F = \text{無限体積線源から有限体積線源への変換係数} = 0.12$$

$$\mu_{net} = \text{漁網の真吸収係数} = 0.12 \times \frac{0.36}{1.6} \quad (\text{cm}^{-1})$$

$$\text{年間被ばく時間} = 1000 \quad (\text{hr})$$

(b) β 線被ばく

$$D = 1.07 \frac{\mu_t \bar{E}_\beta \chi}{\rho_t \rho_{net} \mu_{net}} \int_{dut}^{\infty} E_1(y) dy \quad (\text{rad/hr})$$

$$\chi = 223 \times 10^{-8} \times 4000 \times 1 \quad (\mu\text{Ci/g})$$

$$\bar{E}_\beta = 0.57 \quad (\text{Mev})$$

$$\mu_t = 1215 \quad (\text{cm}^{-1})$$

$$\mu_{net} = \text{漁網のエネルギー吸収係数} = 1215 \quad (\text{cm}^{-1})$$

$$\rho_t = 10 \quad (\text{g/cm}^3)$$

$$\rho_{net} = \text{漁網の密度} = 1.0 \quad (\text{g/cm}^3)$$

$$d = 0.007 \quad (\text{cm})$$

$$\text{年間被ばく時間} = 2000 \quad (\text{hr})$$

(3) 海面からの被ばく線量計算に用いた式と定数

(a) r 線被ばく

$$D = 1.07 \frac{\mu_{a,t} \bar{E}_\gamma}{\rho_t} S \left\{ E_1(\mu_{ah}) + \frac{a}{1-b} e^{-(1-b)\mu_{ah}} \right\} \quad (\text{rad/hr})$$

$$S = \frac{\chi}{2 \mu_{a,w}}$$

$$\chi = 2.32 \times 10^{-8} \text{ (}\mu\text{Ci/cm}^3\text{)}$$

$$\mu_a, w = 0.030 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

$$\bar{E}_r = 0.25 \text{ (MeV)}$$

$$\mu_a, t = 0.030 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

$$\mu_a = 1.46 \times 10^{-4} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

$$\rho t = 1.0 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$a = 1.7$$

$$b = 0.4$$

$$h = 100 \text{ (cm)}$$

$$\text{年間被ばく時間} = 2000 \text{ (hr)}$$

(b) β 線被ばく

$$D = 1.07 \frac{\mu t \bar{E}_\beta}{\rho t} S E_1 (\mu a h + d \mu t) \text{ (rad/hr)}$$

$$S = \frac{\chi}{2 \mu w}$$

$$\chi = 2.32 \times 10^{-8} \text{ (}\mu\text{Ci/cm}^3\text{)}$$

$$\bar{E}_\beta = 0.57 \text{ (MeV)}$$

$$\mu w = 12.15 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

$$\mu t = 12.15 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

$$\mu_a = 0.0134 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

$$\rho t = 1.0 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$h = 100 \text{ (cm)}$$

$$d = 0.007 \text{ (cm)}$$

$$\text{年間被ばく時間} = 2000 \text{ (hr)}$$

(4) 海水中での被ばく線量計算に用いた式と定数

(a) r 線被ばく

$$D = 2 \times 1.07 \times \frac{\mu_a, t \bar{E}_r \chi}{\rho t \mu w} \left\{ 1 + \frac{a}{(1-b)^2} \right\} \text{ (rad/hr)}$$

$$\chi = 3.89 \times 10^{-9} \text{ (}\mu\text{Ci/cm}^3\text{)}$$

$$\bar{E}_r = 0.25 \text{ (MeV)}$$

$$\mu_a, t = 0.030 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

$$\mu w = \text{水の全吸収係数} = 0.13 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

$$\rho t = 1.0 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$a = 2.3$$

$$b = 0.2$$

$$\text{年間被ばく時間} = 100 \text{ (hr)}$$

(b) β 線被ばく

$$D = 1.07 \frac{\mu t \bar{E}_\beta \chi}{\rho t \mu_w} \int_{d\mu t}^{\infty} E_1(y) dy \text{ (rad/hr)}$$

$$\chi = 3.89 \times 10^{-9} \text{ (}\mu\text{Ci/cm}^3\text{)}$$

$$\bar{E}_\beta = 0.57 \text{ (MeV)}$$

$$\mu t = 12.15 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

$$\mu_w = 12.15 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

$$\rho t = 1.0 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$d = 0.007 \text{ (cm)}$$

$$\text{年間被ばく時間} = 100 \text{ (hr)}$$

(5) 船体からの被ばく線量計算に用いた式と定数

(a) r 線被ばく

$$D = 2 \times 1.07 \times \frac{\mu_{a,t} \bar{E}_\beta \chi}{\rho t} \left[\frac{1}{2} E_1(\mu a h) - \frac{1}{2} E_1\left(\mu a \sqrt{r_0^2 + h^2}\right) + \frac{1}{2} \times \frac{a}{1-b} \left\{ e^{-(1-b)\mu a h} - e^{-(1-b)\mu a \sqrt{r_0^2 + h^2}} \right\} \right] \text{ (rad/hr)}$$

$$\chi = 2.32 \times 10^{-8} \times 10 \text{ (}\mu\text{Ci/cm}^3\text{)}$$

$$\bar{E}_\beta = 0.25 \text{ (MeV)}$$

$$\mu_{a,t} = 0.030 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

$$\mu_a = 1.46 \times 10^{-4} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

$$\rho t = 1.0 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$h = 70 \text{ (cm)}$$

$$r_0 = \text{汚染表面の実効半径} = 380 \text{ (cm)}$$

$$a = 1.7$$

$$b = 0.4$$

$$\text{年間被ばく時間} = 3,000 \text{ (hr)}$$

(b) β 線被ばく

$$D = 1.07 \frac{\mu t \bar{E}_\beta \chi}{\rho t} E_1 (d \mu t) (\text{rad/hr})$$

$$\chi = 2.32 \times 10^{-8} \times 10 (\mu\text{Ci/cm}^2)$$

$$\bar{E}_\beta = 0.57 (\text{Mev})$$

$$\mu t = 1.0 (\text{g/cm}^2)$$

$$d = 0.007 (\text{cm})$$

$$\text{年間被ばく時間} = 3,000 (\text{hr})$$

(6) トリチウムによる被ばく計算に用いた式と定数

この場合には浸漬モデルを用いた。

$$D = 1.07 \chi E_\beta (\text{rad/hr})$$

$$\chi = \begin{cases} 3.55 \times 10^{-8} \times \frac{140}{0.72} & (\text{漁網取扱時}) \\ 4.94 \times 10^{-8} \times \frac{140}{0.72} & (\text{海水浴時}) \end{cases}$$

$$E_\beta = \text{トリチウムの}\beta\text{線平均エネルギー} = 0.0057 (\text{Mev})$$

$$\text{年間被ばく時間} = \begin{cases} 2,000 \text{ hr} & (\text{漁網取扱時}) \\ 100 \text{ hr} & (\text{海水浴時}) \end{cases}$$