

研究論文

¹³¹I 治療患者周辺空間線量率分布の解析折戸武郎*¹, 古賀佑彦*¹, 竹内 昭*¹, 越田吉郎*², 前川龍一*²

(1983年7月27日受理)

(1984年1月19日再受理)

An Analysis of the Spatial Dose Distribution around the Patient with Therapeutic Dose of ¹³¹ITakeo ORITO,*¹ Sukehiko KOGA,*¹ Akira TAKEUCHI,*¹
Kichiro KOSHIDA*² and Ryuichi MAEKAWA*²

Spatial dose distribution curves based on the measurement of clinical cases, theoretical and experimental analyses were studied around the patients treated with ¹³¹I for thyroid carcinoma. When the maximum activity in a patient was 15 mCi, external exposure at 50 cm from a side of the subject's was 7.64 mR/hr for theoretical value, 6.5 mR/hr for experimental value, and 3.2 mR/hr for clinical case. The total exposure at 1 m from the side of the breast in clinical cases 1, 2 and 3 were obtained 0.775, 0.197 and 0.079 R, respectively. The result of case 1 suggested that special restriction need be placed on the patient's proximity to other individual.

KEY WORDS: distribution curve, therapeutic dose, ¹³¹I, thyroid carcinoma, external exposure, total exposure

I 結 論

核医学診療において、非密封の放射性核種（以下 RN と略す）を用い、各種疾患の治療を行う場合、その患者は放射線発生源となる。非密封 RN による治療として甲状腺癌あるいは甲状腺機能亢進症に利用される ¹³¹I は、現在、治療に用いられているほとんど唯一の非密封 RN と言ってよい。こうした時、第三者、特に放射線感受性の高い乳幼児、あるいは妊娠中の婦人に、RN 投与患者

が接した場合には、これらに及ぼす影響、放射線被曝についての知識がなければならない。これまで患者周辺物あるいは排泄物の RN 濃度については多くの報告がある^{1~10)}。また、患者周辺空間線量分布についても、われわれの1症例についての報告がある¹¹⁾。治療目的の RN 投与患者は、放射線治療病室（医療法施行規則第30条の15）（以下 RN 病室と略す）に収容されなければならないが、退院あるいは一般病棟への転出の基準は決められておらず、また、これらを検討する際の資料もほとんどない。そこで、今回これらの点を解明すべく、¹³¹I 投与患者周辺空間線量率分布の理論的解析、モデル実験、臨床例について検討を行ったので報告する。

II 方法および材料と対象

1. 理論的解析

Alderson Rand Phantom の No.7~11 の頸部を抜きとり、この部に ORINS (Oak Ridge Institute of Nu-

*¹ 藤田学園名古屋保健衛生大学医学部放射線医学教室；愛知県豊明市杏樹町（〒470-11）

Department of Radiology, Fujita Gakuen University, School of Medicine, Kutsukake-cho, Toyoake-shi, Aichi-ken, 470-11.

*² 金沢大学医療技術短期大学部診療放射線技術学科；石川県金沢市小立野 5-11-80（〒920）

Division of Radiology, The School of Allied Medical Professions, Kanazawa University, 5-11-80, Kodatsuno, Kanazawa-shi, Ishikawa-ken, 920.

clear Studies) 型頸部ファントムを挿入し, この甲状腺部に ^{131}I 3 mCi を充填したと仮定した。3 mCi と仮定したのは, モデル実験で精度の関係から 3 mCi を用いた条件に合わせたものである。1 mCi の RN から 1 m の点での照射線量率 $\Gamma(\text{mR}\cdot\text{hr}^{-1})$ は一般に次式で示される^{12,13)}。

$$\Gamma = \sum_i 19.5 n_i E_i (\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{air}} \text{ mR}\cdot\text{hr}^{-1}\cdot\text{mCi}^{-1} \text{ at } 1 \text{ m} \quad (1)$$

ただし,

n_i : 1 崩壊当りの平均光子数

E_i : 光子エネルギー

$(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{air}}$: 空気中の質量エネルギー吸収係数

さらに, 次に示す式で距離の逆 2 乗則, ファントム物質および空気による減弱の補正を行った。

$$\Gamma = \sum_i 19.5 n_i E_i (\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{air}} L^{-2} \cdot \exp\{-(\mu/\rho)_{\text{water}} \rho_{\text{water}} l\} \cdot \exp\{-(\mu/\rho)_{\text{air}} \rho_{\text{air}} (L-l)\} \quad (2)$$

ただし,

L : 線源から測定点までの距離

l : 線源と測定点間に介在するファントム物質の厚み

ファントム物質による減弱は, 水に対する質量減弱係数を用いた。 n_i , E_i は MIRD pamphlet No. 4 によった。

(μ_{en}/ρ) , $(\mu/\rho)_{\text{water}}$, $(\mu/\rho)_{\text{air}}$ は NSROS-NBS 29 のデータを用いた¹⁵⁾。なお, $\rho=0.001293(\text{g}/\text{cm}^3)$ とした。

計算は, 富士通 FACOM M-160 によった。この時, E_i が 10 keV 未満のものは削除した。空間線量率の計算は間隔 30 cm の点ごとに行った。計算では甲状腺部に投与量の 100% の ^{131}I があるものと仮定した。

2. モデル実験

理論的に求めたものと同じ幾何学的位置関係のモデルで測定を行った。測定に電離箱式サーベイメータ (Aloka 社製 ICS-151) によった。その諸特性は別に報告した¹⁶⁾。

3. 臨床例

(1) 症例 1¹¹⁾

男性, 30 歳, 甲状腺全摘術を施行されている。この患者に Na^{131}I 100 mCi のカプセルを経口投与した。この症例は, (1)頸部正中部 (正常甲状腺残存と思われる), (2)頸部リンパ節, (3)左腋窩リンパ腺, (4)両肺, (5)右腎前上極, 下極, (6)左腎門部, (7)左ソ径リンパ節に RN の集積がみられ, とくに右腎前上極, 下極に強い集積が指摘できる (Photo 1)。

(2) 症例 2



Photo. 1 Whole body transmission emission scanning of a patient administered 100 mCi of ^{131}I . Source for transmission scanning was $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

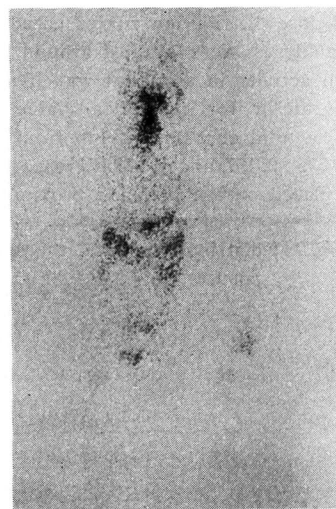


Photo. 2 Whole body scanning of a patient administered 88 mCi of ^{131}I .

女性, 57 歳, 甲状腺全摘術を施行されている。この患者に Na^{131}I 88 mCi のカプセルを経口投与した。この症例は, (1)唾液腺, (2)甲状腺床, (3)胃, 腸, 膀胱に RN の集積がみられる。しかし, (1), (3)は生理的な集積であり甲状腺以外に転移のないことがわかる (Photo 2)。甲状腺全摘術を施行されているが(2)は残存甲状腺組織と考えられる。

(3) 症例 3

女性, 67 歳, 甲状腺全摘術を施行されている。この

患者に Na^{131}I 90 mCi のカプセルを経口投与した。この症例は、(1)唾液腺、(2)甲状腺床、(3)胃、膀胱に RN の集積がみられる (Photo 3)。しかし、(1)、(3)は症例 2 と同様、生理的な集積であり甲状腺以外に転移のないことが指摘できる。

以上 3 症例の患者周辺空間線量率分布の測定を行った。空間線量率の測定は Fig. 1 に示す RN 病室内のベッドに仰臥した状態で患者の右側方にて身体前頭面で床上 80 cm の平面で行った。各測定点間距離は 30 cm とした。測定方法はモデル実験と同一である。このとき、MUHC (Medical Universal Human Counter)¹⁷⁾ によりリニアスキャンを実施した。これらの測定は Na^{131}I 投与直後より経時的に行った。

III 結 果

1. 理論的解析およびモデル実験

(2)式により求めたファントム周辺空間線量率分布を Fig. 2 に示す。モデル実験での実測結果を Fig. 3 に示す。両者とも、ほぼ同じ形の空間線量率分布を示しており、ファントム正中矢状面に垂直な方向では両者ほぼ一致している。しかし、低線量率領域をみると腹部近傍では、理論的解析結果のほうが狭くなっている。これは、理論的解析はポイントにおける評価であるのに対して、実測ではサーベイメータが容積をもつため、このような結果になったものと考えられる。

2. 症 例

症例 1 の空間線量率分布はすでに報告した¹¹⁾。この減衰は 2 相性を示すが、おのおの空間線量率が 1/2 にな

る時間は 0.707 日、6.19 日であった。

症例 2 の空間線量率分布は Fig. 4 に示す。この症例

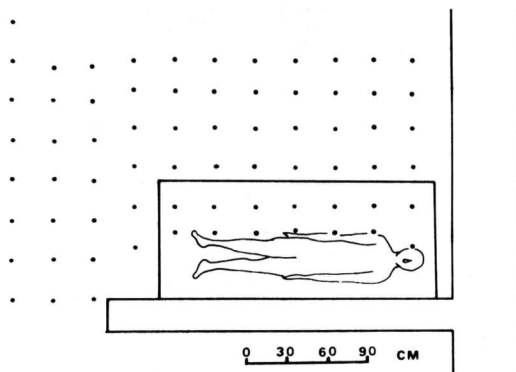


Fig. 1 Measuring points at the bed-side.

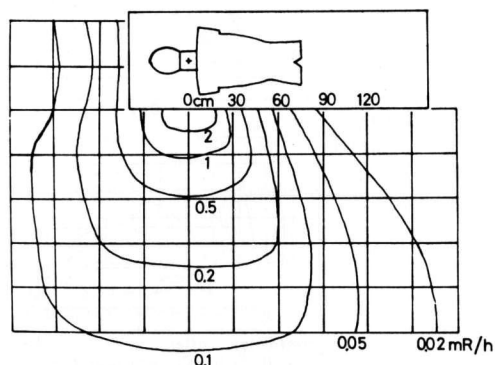


Fig. 2 Theoretical spatial dose distribution curve around the Alderson Rand Phantom under the thyroid gland containing ^{131}I solution of 3 mCi.

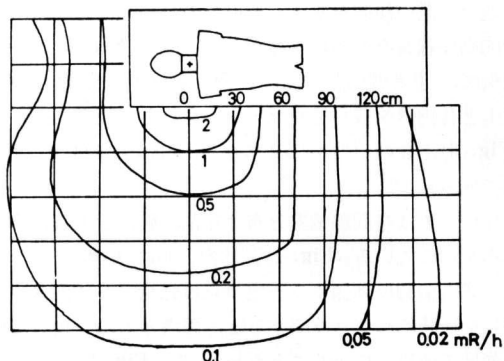


Fig. 3 Experimental spatial dose distribution curve around the Alderson Rand Phantom under the thyroid gland containing ^{131}I solution of 3 mCi.

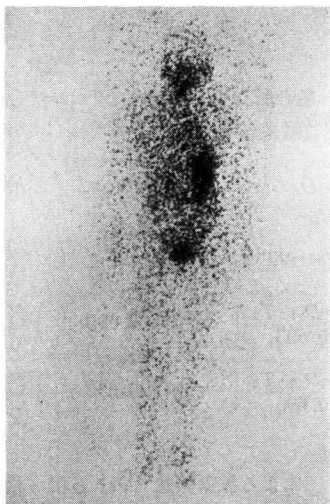


Photo. 3 Whole body scanning of a patient administered 90 mCi of ^{131}I .

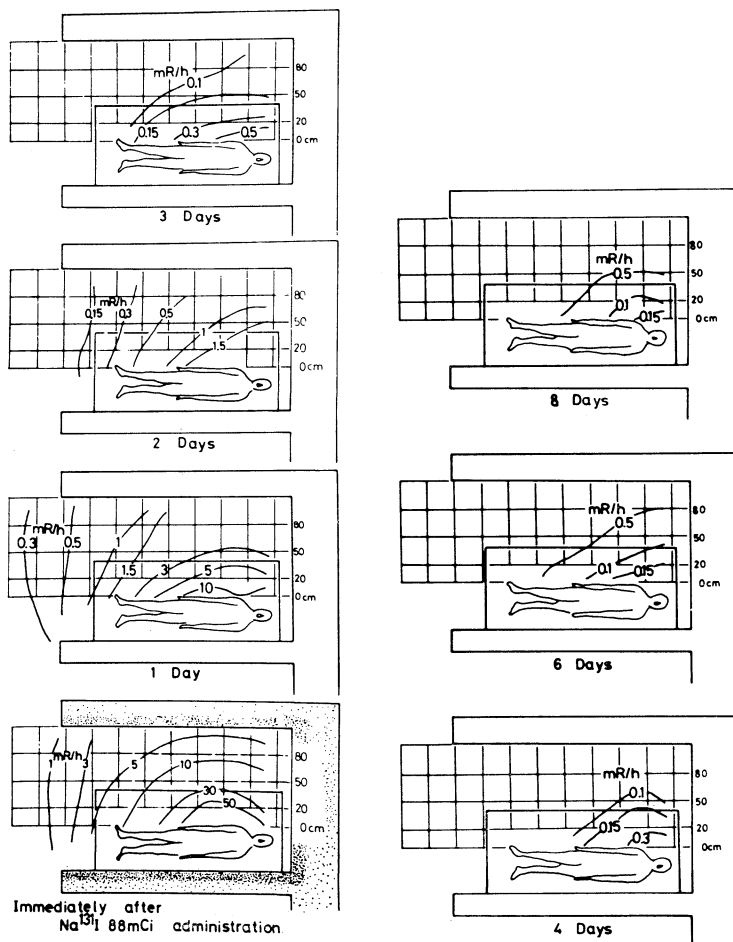


Fig. 4 Spatial dose distribution curve in the ward of a patient administered orally Na ^{131}I 88mCi (Case 2).

は速い排泄の傾向を示す。放射能の高い頸部を中心に比較的高い線量率の領域が存在している (Fig. 5)。この症例で、患者側胸壁体側より 50, 80 cm 離れた点の線量率と体内 RN 残存量をプロットすると 2 相性を示し (Fig. 6), おおのが 1/2 になる時間は 0.423 日, 9.20 日であった。

症例 3 では空間線量率分布は頸部, 腹部を中心に凸な分布を示している (Fig. 7)。体内分布は Fig. 8 に示した。患者側胸壁体側より一定の点の線量率と体内 RN 残存量を経時的にプロットすると、両者ともに一致した相対強度で減衰していくことがわかる (Fig. 9)。これも 2 相性を示し、おおのが 1/2 になる時間は 0.918 日, 0.425 日となる。

以上 3 症例について、経時的に求めた空間線量率分布

をもとに、患者側胸壁より 50, 80 cm で任意の時点における外部被曝線量を求める場合次式が成り立つ

$$\begin{aligned} \tilde{D} &= \tilde{D}_I + \tilde{D}_{II} = \int_{t_1}^{t_2} D_{0I} \cdot \exp\left(-0.693 \frac{t}{T_I}\right) dt \\ &+ \int_{t_1}^{t_2} D_{0II} \cdot \exp\left(-0.693 \frac{t}{T_{II}}\right) dt \\ &= \frac{24 \cdot D_{0I} \cdot T_I}{0.693} \left[-\exp\left(-0.693 \frac{t}{T_I}\right) \right]_{t_1}^{t_2} \\ &+ \frac{24 \cdot D_{0II} \cdot T_{II}}{0.693} \left[-\exp\left(-0.693 \frac{t}{T_{II}}\right) \right]_{t_1}^{t_2} \quad (3) \end{aligned}$$

ただし、

\tilde{D} : 第 1 相による被曝線量 (\tilde{D}_I) と第 2 相による被曝線量 (\tilde{D}_{II}) との和

D_{0I} : Na ^{131}I 投与直後の任意の位置での第 1 相による

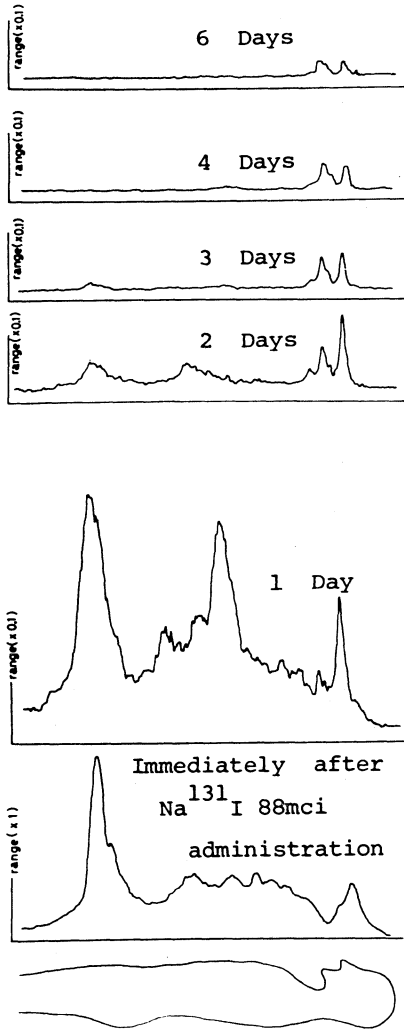


Fig. 5 Linear scan after oral administration of 88 mCi of Na¹³¹I.

空間線量率

D_{0II} : Na¹³¹I 投与直後の任意の位置での第2相による空間線量率

t_1 : 第三者がRN投与患者に接し始めた時刻

t_2 : 第三者がRN投与患者との接触から解放された時刻

T_I : 第1相で空間線量率が1/2になる日数

T_{II} : 第2相で空間線量率が1/2になる日数

なお、 t_1 , t_2 の単位は「時(hr)」, t , T_I , T_{II} の単位は「日(d)」である。

(3)式に3症例より求めた D_{0I} , D_{0II} , T_I , T_{II} を代入すれば、各時点での外部被曝線量が求められる。Na¹³¹I

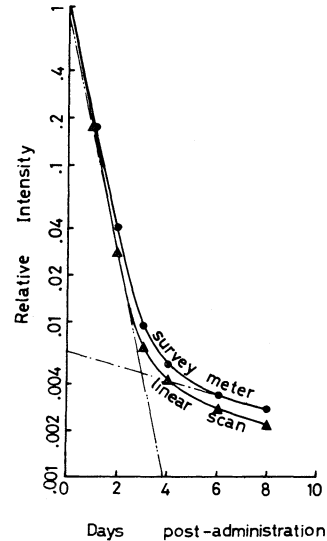


Fig. 6 Attenuation curve of spatial dose rate and linear scan for case 2.

投与1週間後、2週間後の外部被曝線量を接触時間($t_2 - t_1$)が1時間の場合について求めると Table 1 のようになる。

理論的解析、モデル実験、臨床例について、体内残存量が 15 mCi になった時のファントムあるいは患者側胸壁体側より 50 cm 離れた点の空間線量率は Table 2 のようになる。3 症例で体内残存量が 15 mCi になる時点は症例 1, 2, 3 でおおの Na¹³¹I 投与後約 12 日、約 1 日、約 4 日となった。患者から 0.5, 1.0, 2.5 m の距離に Na¹³¹I 投与直後より連続的に居在した場合、どの程度の総照射線量¹⁸⁾になるか算出した。ただし、1.0, 2.5 m における線量率は、各症例の空間線量率分布から得た値を外挿した。このとき、一般に次式が成り立つ。

$$D = A \exp(-0.693t/T_I) + B \exp(-0.693t/T_{II}) \quad (4)$$

症例 1 では 0.5 m の時 $A = 14.0$ (mR/hr),
 $B = 4.0$ (mR/hr)

1.0 m の時 $A = 3.5$ ("),

$B = 1.0$ (")

2.5 m の時 $A = 0.56$ ("),

$B = 0.16$ (")

症例 2 では 0.5 m の時 $A = 18.9$ ("),

$B = 0.11$ (")

1.0 m の時 $A = 4.725$ ("),

$B = 0.0027$ (")

2.5 m の時 $A = 0.756$ ("),

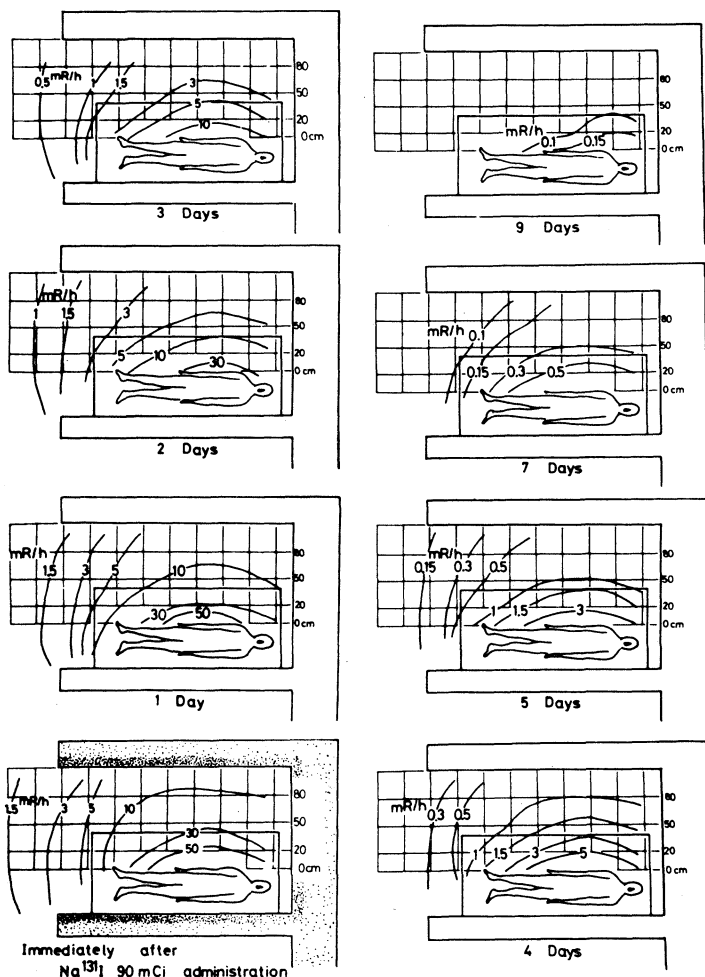


Fig. 7 Spatial dose distribution curve in the ward of a patient orally administered 90 mCi of Na^{131}I (Case 3).

$$B = 0.0044 (\text{ })$$

症例3では 0.5 m の時 $A = 40.0 (\text{ })$,

$$B = -18.0 (\text{ })$$

1.0 m の時 $A = 9.30 (\text{ })$,

$$B = -8.37 (\text{ })$$

2.5 m の時 $A = 1.70 (\text{ })$,

$$B = -1.53 (\text{ })$$

を代入すればよい,

こうして求めた値を無限大時間にわたって積分すると

Table 3 のようになる。

IV 考 察

一般に RN を使用する時, 環境汚染やヒトに与える影

響を考慮して厳しい法的規制を受けている^{19,20}。このような観点から RN 投与患者から一般公衆や医療スタッフに与える被曝線量を少なくするよう努力しなければならない。

ICRP Publication 5²¹⁾, 25¹⁸⁾ では「放射性物質を用いて治療中の患者の帰宅について」という項で, 経験的に¹³¹I 投与患者の体内残存放射能強度が 15 mCi になったら帰宅させてもよいとしている。そこで, 今回体内残存¹³¹I が 15 mCi になった時, 理論的解析, モデル実験, 臨床例について患者周辺空間線量率分布の測定を行い, それらの間にどの程度の違いがあるかを知り, それが, 一般公衆ならびに医療スタッフにどの程度の外部被曝線量を与えるかについて検討した。体内残存量が 15 mCi

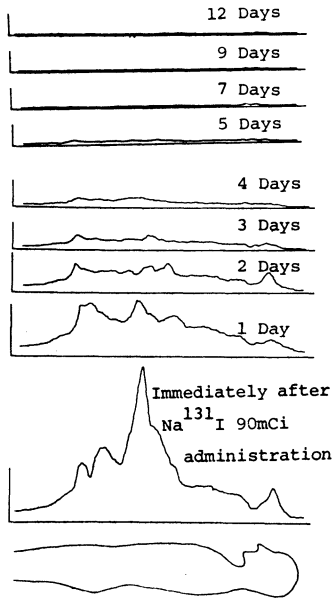


Fig. 8 Linear scan after oral administration of 90 mCi of Na^{131}I .

Table 1 External exposure at 50 cm or 80 cm from a patient after ^{131}I was administered to a patient orally.

	After 1 week		After 2 week	
	at 50 cm (mR/hr)	at 80 cm (mR/hr)	at 50 cm (mR/hr)	at 80 cm (mR/hr)
Patient 1	6.6	2.8	2.8	1.3
Patient 2	0.05	0.02		
Patient 3	0.2	0.12	0.02	0.01

Table 2 External exposure at 50 cm from the object when the maximum activity in a patient was 15 mCi.

	Exposure rate at 50 cm
Patient 1	3.6 mR/hr
Patient 2	3.0
Patient 3	3.0
Experimental value	6.45
Theoretical value	7.65

になった時の空間線量率をみると、臨床例では理論的解析およびモデル実験の約 1/2 である。これは、後者では ^{131}I が甲状腺部のみに取り込まれたと仮定したのに対

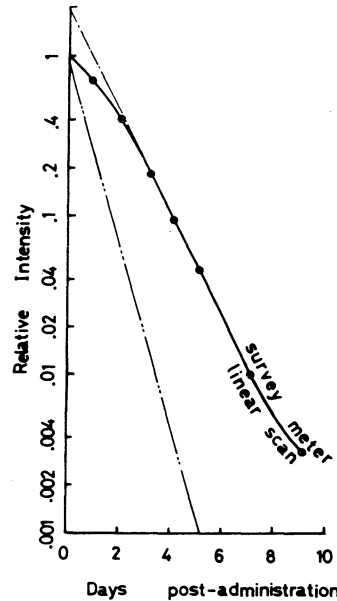


Fig. 9 Attenuation curve of spatial dose rate and linear scan for case 3.

Table 3 Total exposure at 0.5, 1.0, and 2.5 m from the side of the breast of clinical case.

	Activity administered (mCi)	Exposure per treatment		
		at 0.5 m (R)	at 1.0 m (R)	at 2.5 m (R)
Patient 1	100	3.10	0.775	0.124
Patient 2	88	0.312	0.078	0.0125
Patient 3	90	0.371	0.172	0.0315

し、臨床例では全身に ^{131}I が分布しているためと考えられる。古賀ら²²⁾は、第三者への外部被曝を考慮した場合の RN 投与患者の特別病室への収容基準について報告しているが、この報告は点線源で、かつ物理的半減期のみにより減衰するという仮定のもとで計算しているため外部被曝線量が過大に評価されている。したがって、より正確な外部被曝線量を知るには、臨床例によって評価する必要がある。

今回のわれわれの測定結果では、臨床例の場合理論的解析およびモデル実験の 1/2 の値であったが、その差の原因を明らかにするため臨床例での体内分布と同一条件で理論的解析、モデル実験を行い、その整合性を確認する必要がある。そこで症例 1 について試算を行った。シンチグラム上から RN の多く沈着している 6 か所につ

いて、半径 r_i の球状体積に比例して集積していると考ええると各部位の沈着割合は次式で与えられる。

$$\frac{\frac{4}{3} \pi r_i^3}{\sum_i \frac{4}{3} \pi r_i^3} = \frac{r_i^3}{\sum_i r_i^3}$$

したがって、 $q=15$ mCi をこの比率で分散させると各部位の沈着量 q_i は

$$q_i = \frac{q r_i^3}{\sum_i r_i^3}$$

となる。患者側胸壁側から 50 cm における線量率を (2) 式を用いて計算すると、2.8 mR/hr となった。3 症例の実測の平均が 3.2 mR/hr なので、よく近似している。このことは、従来報告されたような、点線源をもとに線量を評価するのではなく、RN の体内分布を知れば、計算によってもかなり実測値に近づくことを示している。すなわち、体内分布状態等の入力データを現実にならば、計算でもかなり正確な評価ができることを示唆している。今後は各部位に沈着した RN の消失速度なども加味すればより精度の高い線量評価が可能であろう。

医療スタッフが RN 投与患者に接するのは、きわめて短時間と予測されるので、個人モニターによる線量検出は困難かもしれない。こうした時、上述のデータがあれば計算により被曝線量が算出する。RN 投与患者が退院したとき家族の中に乳幼児や妊娠中の婦人がいる場合、十分な配慮が必要である。これには患者の家庭環境、社会環境を知り適切なアドバイスをすることが必要であるが、これも RN 投与後の患者周辺空間線量率分布を経時的に分析してあれば確実に行えると考えられる。すなわち、RN 投与後の時間経過に伴い空間線量率が異なるので、各時点での最適の放射線防護策が立案できるはずである。

三枝²³⁾は、 ^{131}I による甲状腺機能亢進症の患者について、全身残留率曲線を求め 1 相性、2 相性、その他のあることを指摘している。今回の 3 症例は、三枝のいう 2 相性を示すものと考えられる。Buchan ら²⁴⁾は、 ^{131}I を投与された外来患者の家族に対する影響の面から外部被曝線量について報告しているが、われわれの測定したような詳細なものではない。症例 1 は、体内残存量が 15 mCi になるのに約 12 日であった。これは身体各部に多くの転移を伴い、かつその部の摂取率が比較的高かったためであろう。他の 2 症例は転移がなく排泄が早いので、これが短期日になったと考えられる。ICRP のいうように患者の体内残存量が 15 mCi で帰宅させた場合、

かりに家族との接触距離 10 cm (乳、幼児などを抱くと仮定した距離) になったとき、一般公衆に許容される線量限度 0.5 rad 未満の値を保つならば、6.7 時間未満の接触しか許されない。しかし日常生活では、このような接近はほとんど皆無と考えるてよからう²⁵⁾。ICRP^{18,21)} では、公衆の誰かが 2 名以上のこのような患者に接近する機会はきわめて少なく、かつ公共交通機関への乗車時間は約 1 時間であると仮定し 15 mCi という値を決めている。そして、患者が子供に接する場合はこの値の 1/4 としている。今、われわれの測定した空間線量率分布をもとに、最大限患者に近づく距離を 50 cm とし、一般公衆の年線量限度に達する接触時間を求めると、 ^{131}I の物理的減衰を考慮した場合約 229 時間となる。しかし、各症例によって実効半減期が異なり、時間の経過に伴い ^{131}I は排泄されるので外部被曝線量は年線量限度を下廻ると考えられる。したがって、長時間にわたって乳幼児を抱くようなことのない限り、ICRP のいう 15 mCi という帰宅基準は正当であろう。

ICRP¹⁸⁾ では、放射能が完全に減衰するまでの患者から 1 m の距離における線量が年線量限度 0.5 rad 未満であるような放射線レベルであれば、経験上、患者の近傍において他の個人に対し何らの特別の制限を設ける必要はないとしている。Table 3 に示すように症例 2, 3 はこれに該当するが、症例 1 は制限を必要とする。しかし、通常 RN 病室は、隣接するベッドとの間には必ず遮蔽物体が置かれているので、隣接患者等に対するそれ以上の特別な措置は、実際上は必要とされないであろう。

V 結 論

甲状腺癌患者に Na^{131}I を投与した場合の RN 病室内空間線量率分布測定を理論的解析とともにモデル実験および臨床例について行った。これをもとに RN 投与患者の帰宅、転室の基準に関する事項について検討をし次のような結論を得た。

1. 理論的解析、モデル実験、臨床例で体内残存量が 15 mCi になった時のファントムあるいは患者側胸壁側より 50 cm 離れた点の空間線量率はおおの 7.65 mR/hr, 6.5 mR/hr, 3.2 mR/hr (3 症例の平均) となった。
2. 結論 1 のデータをもとに、体内残存量が 15 mCi のとき帰宅させた場合、一般公衆の年線量限度以下になるような接触時間を求めると、3 症例の平均 3.2 mR/hr の値を用い、以後物理的減衰のみを考慮すると、最大約 229 時間接してもよいことになる。
3. 日常生活では 50 cm の距離でこのような長時間

接することはないので外部被曝のみを考えた場合 ICRP のいう 15 mCi は妥当と考えられる。内部被曝との加算については、今後さらに検討される必要がある。

4. 空間線量率分布が経時的に分析してあれば時宜に応じた放射線防護策の立案, さらに低線量被曝で線量検出が困難な場合, 空間線量率分布をもとに計算により算出可能であり有用と考えられる。

5. 患者から 1 m の距離における照射線量の積算値は症例 1, 2, 3 でおおの 0.775, 0.197, 0.078 R となった。各症例ごとに実効半減期が異なるので, その知見をふまえて隣接者に対する放射線防護上の配慮を施した放射線治療病室に収容すべきことがわかった。

(本研究の一部は, 厚生省新医療技術研究事業(代表者飯尾正宏教授)の助成をうけて行われた。)

参 考 文 献

- 1) M. BLUM, R. CHANDRA and C.H. MARSHALL; *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **18**(1), 57 (1971).
- 2) C.H. MARSHALL, R. CHANDRA and M. BLUM; IRPA Conf-730907 part II, 1169-1174, IRPA Washington (1973).
- 3) 栗栖 明; 放射性ヨウ素取扱いの保健物理勉強会資料, p.14 (1976).
- 4) 西沢邦秀, 小原 健, 大島統男, 前越 久, 折戸武郎, 渡辺 令; 核医学, **14**, 361 (1977).
- 5) 折戸武郎, 前越 久, 西沢邦秀, 小原 健, 大島統男, 渡辺 令; *Radioisotopes*, **27**, 662 (1978).
- 6) 小原 健, 西沢邦秀, 大島統男, 前越 久, 折戸武郎, 渡辺 令; 核医学, **15**, 1049 (1978).
- 7) 前越 久, 折戸武郎, 西沢邦秀, 小原 健, 渡辺 令, 大島統男; *Radioisotopes*, **28**, 180 (1979).
- 8) 森 厚文, 今城ひろ子, 山田正人, 松平正道, 松本 進, 安東 醇, 瀬戸 光, 久田欣一; *Radioisotopes*, **28**, 252 (1979).
- 9) K. NISHIZAWA, K. OHARA, M. OHSHIMA, H. MAEKOSHI, T. ORITO and T. WATANABE; *Health Phys.*, **38**, 467 (1980).
- 10) 西沢邦秀, 小原 健, 大島統男, 前越 久, 折戸武郎, 渡辺 令; 核医学, **17**, 691 (1980).
- 11) 折戸武郎, 前川龍一, 越田吉郎, 松田 博, 松平正道, 森 厚文, 平木辰之助, 久田欣一; 核医学, **17**, 717 (1980).
- 12) 尾内能夫; “放射線医学”(江藤秀雄ほか編)上巻, 第2版, p.127 (1972), 医学書院, 東京.
- 13) H.E. JOHNS and J.R. CUNNINGHAM; “The Physics of Radiology,” p. 304 (1977), Charles C Thomas, Illinois.
- 14) MIRD pamphlet 4: *J. Nucl. Med. Supplement* **1**, p. 26 (1969).
- 15) J.H. HUBBELL; NSROS-NBS 29 (1969).
- 16) 越田吉郎, 折戸武郎, 前川龍一; 金沢大学医療技術短期大学部紀要, **6**, 19 (1982).
- 17) 久田欣一, 松平正道, 倉西 誠, 森 省三; *Radioisotopes*, **17**, 242 (1968).
- 18) ICRP Publication 25; “病院および医学研究施設における非密封放射性核種の取扱い, 貯蔵, 使用および廃棄処分”, p.44 (1978), 日本アイソトープ協会, 東京.
- 19) 浜田達二; *Radioisotopes*, **29**, 355 (1980).
- 20) 浜田達二; *Radioisotopes*, **29**, 409 (1980).
- 21) ICRP Publication; “病院および医学研究施設における放射性物質の取扱いと廃棄”, p.31 (1967), 日本放射性同位元素協会, 東京.
- 22) 古賀佑彦, 西沢邦秀; *Radioisotopes*, **23**, 297 (1974).
- 23) 三枝健二; 日本医放会誌, **34**, 404 (1974).
- 24) R.C.T. BUCHAN and J.M. BRINDLE; *Br. J. Radiol.*, **44**, 973 (1971).
- 25) 古賀佑彦, 折戸武郎, 越田吉郎; 準備中