コンパクト ESWL (Direx Tripter X-1) の治療経験

JR 東京総合病院泌尿器科 (部長: 吉田正林)

吉田正林 長谷川 倫 男

東京慈恵会医科大学泌尿器科 (主任: 町田豊平教授)

町田 豊 平 鈴木 英 訓

CLINICAL APPLICATION OF COMPACT ESWL (DIREX TRIPTER X-1)

Masashige Yoshida and Norio Hasegawa

Department of Urology, JR Tokyo General Hospital

(Chief: M. Yoshida)

Toyohei Machida and Hidenori Suzuki

Department of Urology, The Jikei University School of Medicine

(Chief: Prof. T. Machida)

Clinical trials using Extracorporeal Shock Wave Lithotripter (Tripter X-1) were performed on 30 cases for upper urinary tract calculi (16 cases: renal stone, 14 cases: ureter stone) with one trial per individual case from December, 1988 till February 1989. The fragmentation rate of 100% resulted.

One month after treatment, evaluation on the X-ray film showed that 10 cases (33%) were found to be excellent where stone silhouette was no more observed. Effective cases where residual stone having dimension of below 5mm counted 10 (33%), and clinically effective rate, sum of both excellent and effective rates was 67 percent. Effective rate was 75 percent in case of kidney stone, and 57 percent in case of ureter stone respectively.

Side effects of visual hematuria, skin ecchymosis and fever were observed, yet none of them was of serious grade, and post operative changes in blood chemistry were mild and transient. No remarkable side effects due to radiation exposure were observed.

We concluded therefore that Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy by this system is an effective therapy for upper urinary tract stones.

Key words: compact ESWL, urinary tract calculi, treatment

要旨: 1988年12月より1989年2月までに, 30症例(腎結石16例, 尿管結石14例)の上部尿路結石にたいし, 各々1回づつ計30回の ESWL (TRIPTER X-1) による破碎術を施行した。その結石破碎率は100%であった。治療1カ月後のレントゲン撮影で, 結石陰影が完全に消失した著効例は10例(33%)であった。5mm未満の残石を認めた有効例は10例(33%)で, 著効と有効をあわせた臨床的有效率は67%であった。また結石部位別の有効率は腎結石で75%, 尿管結石で57%であった。

副作用として肉眼的血尿, 皮下血腫, 発熱を認めたが重篤なものはなく, また血液生化学上の変化も軽度かつ一過性であり, X線被爆による影響についても特筆すべき点は見られなかった。以上より本装置による体外衝撃波碎石術は, 有用な上部尿路結石の治療法であると確認した。

キーワード: コンパクト ESWL, 尿路結石, 治療

1. 緒 言

小型, 簡便で容易に移動でき, しかも結石破碎力にも優れた体外衝撃波尿路結石碎石器(Extracorporeal Shock Wave Lithotripter: ESWL)として注目され

ているイスラエル, Direx 社製, Tripter X-1を使用する機会を得たので, その治療成績を報告する。

2. 対 象

患者は, 1988年12月より1989年2月までに, JR 東京

表 1 対象（全30症例）

男	23例	女	7例		
年齢	30～68歳（平均50.3歳）				
結石の側	右	16例	結石の大きさ	≤10 mm	8例
	左	14例		10 mm<≤20 mm	19例
結石数	単発	20例		20 mm<≤30 mm	3例
	多発	10例			
結石の部位	腎	16例			
	R ₁	1例	R ₁ ：腎実質内，腎杯憩室内などの腎杯・腎盂結石以外の腎結石		
	R ₂	11例	R ₂ ：腎盂・腎杯結石		
	R ₃	4例	R ₃ ：腎盂尿管移行部結石		
尿管	尿管	14例			
	U ₁	10例	U ₁ ：上部尿管（UPJ は含まず腸骨稜上縁まで）		
	U ₂	3例	U ₂ ：中部尿管（腸骨に重なる部位）		
	U ₃	1例	U ₃ ：下部尿管（腸骨に重ならない尿管～UVJ）		
結石治療の既往歴		11例			
	腎切石	2例			
	尿管切石	1例			
	PNL	2例			
	TUL	4例			
	ESWL	2例			

総合病院泌尿器科で上部尿路結石と診断し，Tripter X-1による治療に同意した30症例，30腎である（表1）。内訳は男23例，女7例，年齢は30歳から68歳（平均50.3歳）であった。結石の大きさおよび結石部位は，ESWL検討委員会の定めた結石治療の評価基準¹⁾に基づき分類した。すなわち結石の大きさ（長径）では，≤10mm 8例，10mm<≤20mm 19例，20mm<≤30mm 3例であった。結石数については単発20例，多発10例であった。結石の部位は腎結石が16例，尿管結石が14例であった（表1）。腎ではR₂：腎盂・腎杯結石が11例と多く，尿管ではU₁：上部尿管結石が10例と多かった。結石治療の既往歴のあるものは11例で，腎切石術2例，尿管切石術1例，PNL 2例，TUL 4例，他のESWL 破碎術後2例であった。

3. 方 法

全例，硬膜外麻酔下でESWLによる破碎術を行った。なお，結石のvolumeの大きい症例では原則として尿管にdouble Jカテーテルを予め留置した。また，尿管結石でfocusの合せにくい症例では，術中に尿管カテーテルを留置した。

Tripter-X-1の本体となるショックウェーブユニット（図1）は，幅70cm，奥行95cm，高さ133cm，重量95kgでありその大きさは従来の固定式ESWLにくらべてかなり小型である。接地部には3箇の滑車があり容易に移動でき室内改装工事も不要である。

実施方法は，まずショックウェーブユニットとCアームX線透視装置をV字型に配置した。ショックウェーブユニットの半回転楕円体リフレクター（リフレクター）に焦点照準器具を取りつけ（図2），以後操作手順書に従ってCアームの前後動，上下動等を調整した。Cアームの垂直及び30°回転時の2方向のX線ビーム中心線の交点とリフレクターの第2焦点（F2）とを一致させた（図3）。なお，この調整は数分ででき，

図2 焦点照準器具：尖部がリフレクターの第2焦点(F2)に一致する。

図3 リフレクター周辺横断面図

一度行えば装置を移動させない限り、次からは確認調整のみで良かった。患者を電動式治療台に乗せ、U2、U3の骨盤内の結石では腹臥位で、その他は仰臥位とした。電動式治療台を遠隔操作により、Cアームが垂直位置で縦・横に、また30°回転位置で上下方向に移動させ、治療すべき結石が第2焦点(F2)にくるように2方向のX線で照準した(図3)。この時点で、フレキシブルメンブランと患者の腰背部または下腹部にメンブランオイルを塗り密着させた。衝撃波発生方式は、水中放電電極式で、衝撃波はリフレクターで反射され、水(生

理食塩水を蓄留水で100倍に希釈)で満されたフレキシブルメンブランを経て結石に収束されるよう設計されている。衝撃波発生は心電図のR波に同調しており、電圧は18~22kVで最高3,000発まで発射した。治療回数は全例ともに1回であった。

治療効果判定のため、原則として治療後1、3日目に腎尿管膀胱単純撮影(KUB)を、1ヵ月後に排泄性尿路造影(IVU)を施行した。治療効果判定基準は、治療1ヵ月後の所見で判定し、完全排石を著効、5mm未満の残石を有効、5mm以上の残石を不完全、結石の大きさの不変のものを無効とした²⁾。また、血液一般、血液生化学検査も治療前、治療後1、3日目、1ヵ月後に行った。

4. 結果

1回の治療における電圧は18~22kVとし、衝撃波数は600~3,000発(平均1,360発)また1回の治療時間は15~68分(平均27.3分)であった(表2)。またX線透視時間は3.8~31.4分(平均11.8分)であった。治療後、結石破碎不能の無効例はなく、全例破碎され破碎率100%であった。

治療1ヵ月後の結石治療効果判定は、30例中、著効10例(33%)、有効10例(33%)、不完全10例(33%)で、無効例はなく、著効と有効を合わせた臨床の有効率は67%であった(表3)。また結石の大きさ別治療成績(表3)は、10mm以下の結石8例では、著効3例、有効3例、不完全2例で有効率は75%であった。10から20mmの結石では19例中、著効6例、有効5例で有効率は58%であった。20mm以上の大結石は3例のみであったが有効率は100%であった。結石の部位別治療成績(表4)は、腎結石16例では、著効3例、有効9例で有効率は75%であった。一方尿管結石14例では、著効7例、有効1例で有効率は57%であった。個々の部位についてみると、腎ではR3、すなわちUPJの結石で有効率が50%と低く、尿管ではU1、上部尿管結石で有効率が70%と高い結果であった。

副作用(表5)は、術中に衝撃波数が約200~250発程で全例に軽度の肉眼的血尿を認めた。また術終了直後にフレキシブルメンブラン接触部皮膚に明らかな浮腫状紫紅色皮下血腫を5例(16.7%)に認めた。しかしこれらはいずれも2~3日で自然消退した。38℃以上の発熱は2例(6.7%)にみられた。全例硬膜外麻酔のため、ESWL治療に起因すると思われる腰痛、側腹部痛はなく、また心電図モニター上の心血管系の変化もみられなかった。

表 2 症例一覧表

症 例	年齢	性	結石部位	最大径 (mm)	結石 数	入院 日数 (日)	治療 回数	治療 時間 (分)	衝撃 波数 (発)	電圧 (KV)	透視 時間 (分)	結石 成分	治療効果 (1ヵ月後 に判定)	発熱 (38℃<)	備 考
1. K. S.	58	女	左腎杯 (R ₁)	11× 8	5	7	1	38	1900	18	31.4	MgP	有 効	—	
2. M. M.	60	男	右下腎杯 (R ₂)	10× 5	1	6	1	17	750	18	12	—	著 効	—	
3. K. S.	48	女	左腎盂 (R ₂)	10× 8	1	9	1	32	1475	18~20	14.6	—	著 効	—	
4. M. Y.	47	男	右下腎杯 (R ₂)	17× 6	1	10	1	14	850	18~20	7.4	CaP	不完全 (15× 4)	—	
5. Y. K.	53	男	左腎盂 (R ₂)	19×12	2	8	1	38	2200	18~20	13.7	CaO, CaP	有 効	—	DJ カテ
6. Y. K.	39	男	左腎盂 (R ₂)	16× 6	1	7	1	17	1000	20	9	—	有 効	—	DJ カテ
7. M. N.	51	男	左腎盂 (R ₂)	12×11	3	7	1	25	1500	10~20	6.6	CaO, CaP	有 効	+	DJ カテ
8. B. S.	53	男	左上腎杯 (R ₂)	10× 5	2	7	1	18	750	18~20	7	CaO	有 効	—	
9. F. G.	57	男	右腎盂 (R ₂)	16×12	1	6	1	15	600	20	3.8	CaO	著 効	—	
10. O. S.	63	男	左下腎杯 (R ₂)	16×10	1	6	1	25	1500	20	14.9	—	有 効	—	
11. Y. K.	33	女	左サン (R ₂)	30×16	3	7	1	39	2000	20	11.7	CaO, CaP	有 効	—	DJ カテ
12. K. K.	66	男	右中下腎杯 (R ₂)	12×10	3	6	1	68	2300	20	15.5	—	不完全 (10×10)	—	DJ カテ
13. T. M.	40	男	右 UPJ (R ₃)	10× 7	1	7	1	25	1800	18~20	17.5	CaP	有 効	—	皮下血腫
14. M. T.	53	男	右 UPJ (R ₃)	14×10	1	8	1	17	1500	15~20	12.4	—	不完全 (10× 4)	—	皮下血腫
15. T. Y.	48	男	左 UPJ (R ₃)	27×15	2	7	1	25	1500	18~20	14	CaO, CaP	有 効	—	DJ カテ
16. T. Y.	55	男	左 UPJ (R ₃)	17×11	1	7	1	15	800	18	9.0	CaO	不完全 (7× 6)	—	
17. E. S.	32	男	右尿管 (U ₁)	22× 8	1	7	1	21	1300	18~19	10.5	CaO	著 効	—	
18. Y. T.	68	女	右尿管 (U ₁)	15× 9	1	24	1	35	2270	20	10.5	—	著 効	—	皮下血腫
19. H. S.	46	女	右尿管 (U ₁)	16×12	1	10	1	60	3000	20~22	—	CaP	著 効	—	DJ カテ
20. R. M.	32	女	左尿管 (U ₁)	8× 6	1	7	1	40	2000	20	17.2	CaO, CaP	著 効	+	尿管カテ, 皮下血腫
21. T. K.	54	男	右尿管 (U ₁)	12× 8	2	7	1	30	1500	18~20	9.8	CaO, CaP	不完全 (8× 7)	—	尿管カテ
22. A. K.	61	男	右尿管 (U ₁)	15×10	1	7	1	18	906	20	9.2	—	著 効	—	尿管カテ
23. M. M.	34	男	右尿管 (U ₁)	10× 5	1	6	1	18	700	20	9.7	CaO, CaP	有 効	—	尿管カテ
24. M. K.	57	男	右尿管 (U ₁)	16× 9	1	8	1	16	1000	20	7.2	CaO, CaP	不完全 (11× 7)	—	
25. Y. I.	68	女	右尿管 (U ₁)	15× 6	3	7	1	22	800	20	8.1	CaO, CaP	著 効	—	
26. T. C.	30	男	左尿管 (U ₁)	15× 6	1	8	1	18	900	20	8.8	—	不完全 (8× 7)	—	
27. K. M.	43	男	左尿管 (U ₂)	7× 6	4	6	1	29	1800	18~20	13.6	—	不完全 (6× 5)	—	
28. K. M.	53	男	左尿管 (U ₂)	10× 5	1	7	1	32	600	20	8.9	—	不完全 (6× 3)	—	
29. M. Y.	47	男	右尿管 (U ₂)	15× 4	1	7	1	25	600	20	16	CaO	著 効	—	尿管カテ
30. H. S.	61	男	右尿管 (U ₃)	11× 6	1	7	1	28	1000	20	13.2	CaO, CaP	不完全 (8× 4)	—	皮下血腫
平 均	50.3					7.8		27.3	1360		11.8				

表 3 結石の大きさ別治療成績（治療 1 ヶ月後に判定 n=30）

長 径	著効	有効	不完全	無効	有効率(%)
≤10 mm (8例)	3	3	2	0	75
10 mm<≤20 mm (19例)	6	5	8	0	58
20 mm<≤30 mm (3例)	1	2	0	0	100
(30例)	10	10	10	0	67

著効：完全排石 有効：5 mm 未満の残石 不完全：5 mm 以上の残石 無効：変化なし

表 4 結石の部位別治療成績（治療 1 ヶ月後に判定 n=30）

結石部位	著効	有効	不完全	無効	有効率(%)
腎 (16例)	3	9	4	0	75
R ₁ 1	0	1	0	0	100
R ₂ 11	3	6	2	0	82
R ₃ 4	0	2	2	0	50
尿管 (14例)	7	1	6	0	57
U ₁ 10	6	1	3	0	70
U ₂ 3	1	0	2	0	33
U ₃ 1	0	0	1	0	0
(30例)	10	10	10	0	67

著効：完全排石 有効：5 mm 未満の残石 不完全：5 mm 以上の残石 無効：変化なし

表 5 副作用

肉眼的血尿	30例 (100 %)
皮下血腫	5例 (16.7%)
発熱 (38°C<)	2例 (6.7%)

治療前後の血液生化学検査で、治療後に有意な変動のあった項目は、治療直後(術後 1 日、または 3 日目)の白血球数増加と赤血球、血小板、TP、および BUN の減少などであった(表 6)。1 ヶ月後では全ての検査値で術前とくらべて有意差はなかった。

5. 考 察

今回われわれが行った Tripter X-1による結石破碎術において、その対象が腎結石16例、尿管結石14例と

ほぼ半々で、これはこれまでの ESWL 治療に関する報告^{2)~6)}にくらべ尿管結石例が多かった。対象となった症例中に他の ESWL 装置 (piezoelectric 方式)による治療で破碎不能であった症例が 2 例含まれていた。この 2 例は表 2 の症例 7 と 19 であった。症例 7 は Tripter X-1 の治療 2 ヶ月前に 1 回の破碎術を、症例 19 は 1 ヶ月前に 2 回の破碎術を行ったが破碎不可能であった。また今回の Tripter X-1による破碎術は、全 30 症例にそれぞれ 1 回のみの治療を行って得た治療評価である。EDAP LT-01では32症例で平均治療回数2.47回²⁾、Dornier では30症例で平均治療回数 1 回³⁾、Piezololith 2200では50症例で平均治療回数1.36回⁵⁾、での治療評価であったという。この様な状況下で、Tripter

表 6 治療前後の血液生化学検査 (n=24~30)

	治 療 前	術後 1 日	術後 3 日	術後 1 ヶ月
WBC /mm ³	7307±1238	10015±2516**	7558±2355	6963±2205
RBC 10 ⁴ /mm ³	463±40.3	453±47.5	438±49.2*	460±165
Hb g/dl	14.4±1.65	14.2±2.01	13.9±1.4	14.5±1.7
Ht %	43.9±4.4	43.4±4.5	41.7±3.5	44.0±4.3
Plate 10 ⁴ /mm ³	28.3±5.60	23.9±5.06**	23.6±5.8**	27.2±2.0
TP g/dl	7.5±0.56	6.8±0.5**	6.8±1.3*	7.5±1.4
Alb g/dl	4.5±0.42	4.0±0.39**	4.2±1.8	4.5±0.6
GOT U	26.6±18.2	28.4±9.7	26.0±14	23.4±11.2
GPT U	34.0±33.6	31.0±28.4	30.4±22.9	29.8±28.0
γ-GTP U/l	33.6±22.1	30.6±27.4	33.0±28.6	28.2±16.7
ALP U	68.2±21.0	64.6±16.4	63.1±13.0	72.0±23.9
LDH U/l	357.3±49.3	382.1±67.2	365.0±58.7	344±40.2
BUN mg/dl	16.4±4.3	12.6±3.43**	13.1±4.2**	16.1±3.0
Cr mg/dl	1.0±0.261	1.1±0.205	1.0±0.29	1.0±0.56
UA mg/dl	5.7±1.32	6.1±1.52	5.5±2.0	6.0±1.0
Na mEq/l	139.5±2.32	138.4±2.32	140±4.0	139±26.8
K mEq/l	4.1±0.45	3.5±1664	3.8±0.70	4.0±0.90
Cl mEq/l	104.5±21.6	98.1±18.6	103±20.4	103±7.6

*p<0.05, **p<0.01 (治療前値との両側検定)

図4 Tripter X-1設置場所のX線散乱線量：①～⑧は測定場所、()内数値は単位時間あたりの平均X線量：単位mSv/h、使用X線装置：東芝SXT-60F、最大定格：100kV、3mA、測定時：64kV、1.2mA

X-1の結石破碎率が100%であったことを考えると、本装置の破碎力が良いことを裏付けるものである。

Tripter X-1の最大の特徴は、小型、ポータブルで他の設備投資が不要でESWLの機種のないなかで最も低価格なことである。水中放電式で破碎力もありX線Cアームによる焦点合せを行えば（超音波でも焦点合せは可）、U2（腸骨に重なる部位）の結石でも治療でき、上部尿路のどこでも治療が可能である。一方、最大の欠点は衝撃波発生時の音が大きいことである。初期のTripter X-1⁴⁾よりは発生音が小さく改良されたとはいえ、85dB（20kV発生時）と本体付近では耳栓が必要である。また放電電極が消耗部品のため、piezoelectric方式にくらべ維持費が高いこと、鎮痛剤投与なしでは疼痛が強く治療困難なことなどもある。一方piezoelectric方式では、破碎力は劣るものの、むしろこのことが無麻酔で外来通院で簡単に治療できる利点となっている。また、超音波で焦点合せをするのでX線被爆がない反面、U2の位置の結石治療は困難である。

治療1ヵ月後の臨床的有效率は66.7%であった。他の施設による同じTripter X-1での報告の79.3%⁴⁾、Dornier Kidney Lithotripterでの76.7%（結石片5mm $\geq$ で判定）³⁾、EDAP LT-01での69.7%²⁾、Piezolith 2200での68.8%（治療後3週目、結石片5mm $\geq$ で判定）⁶⁾などがあり、今回のTripter X-1の成績は決して遜色のないものではほぼ満足すべき結果である。しかしながらそれぞれの報告で、対象となる結石の部位、大きさなどが異なり同じ条件下ではないので有効率の優劣を簡単には結論することはできない。

副作用として肉眼的血尿、皮下血腫、発熱を認めたが、いずれも重篤なものではなく、また血液生化学上の変化も軽度かつ一過性であり、安全性の面でもとくに問題がないと考えられた。

またX線被爆について問題がないかどうか検討した。図4はTripter X-1設置場所でのX線量（通常の使用線量）を①～⑧地点で測定したときの単位時間あたりの平均X線量（単位mSv/h）である。最大は①地点で0.066mSv/h、最小は⑤地点で0.008mSv/hであった。術者が仮に最大被爆地点①に常に居つづけたとして計算すると、表2の平均透視時間11.8分として $0.066 \times \frac{11.8}{60} = 0.013\text{mSv}$ が患者1人あたりの治療中の術者の被爆量となる。X線プロテクターを着用すれば被爆量は1/10以下になり、宇宙線や大地放射線などからうける年間自然放射線被爆量は2mSvといわれる⁷⁾。したがって常にX線プロテクターを装着していれば $\frac{2}{0.0013} = 1540$ より、最大被爆地点①で1,540人の治療を行ったときの被爆量が、年間自然放射線被爆量（2mSv）に等しくなる。実際には同一術者が常に最大被爆地点①に居つづけることは有りえず、実際の年間治療回数（数十～数百回）より考えると、放射線被爆にたいする安全性の面でもほぼ問題のないことが示された。

以上より今回使用したTripter X-1は小型、簡便でポータブルなESWLであるばかりでなく、その破碎力についても他の大型なESWLに優るとも劣らないパワーがあることが判り、本装置による体外衝撃波碎石術は、有用な上部尿路結石の治療法であると確認した。

結 語

1. TRIPTER X-1を使用し、上部尿路結石30症例（腎結石16例、尿管結石14例）に体外衝撃波碎石術を行った。その結石破碎率は100%であった。

2. 治療1ヵ月後のレントゲン撮影で、結石陰影が完全に消失した著効例は10例（33%）であった。また5mm未満の残石を認めた有効例は10例（33%）で、著効と有効をあわせた有効率は67%であった。結石部位別の有効率は腎結石で75%、尿管結石で57%であった。

3. 副作用として肉眼的血尿（100%）、皮下血腫（16.7%）、発熱（6.7%）を認めたが重篤なものではなく、また血液生化学上の変化も軽度かつ一過性であった。X線被爆による影響も少なく安全性の面でもとくに問題はないと考えた。

4. 本装置による体外衝撃波碎石術は、有用な上部尿

路結石の治療法であると確認した。

本論文の要旨は第43回日本交通医学会総会および第463回日本泌尿器科学会東京地方会において発表した。

文 献

- 1) 園田孝夫 (ESWL 検討委員会) : Endourology, ESWL による結石治療の評価基準. 日泌尿会誌, 80, 505—506, 1989.
- 2) 町田豊平, 田代和也, 望月 篤, 大石幸彦, 吉越富久雄, 御厨裕治, 今中啓一郎, 白井 尚 : 第2世代 ESWL (LT-01) による上部尿路結石治療の臨床経験. 日泌尿会誌, 79, 214—219, 1988.
- 3) 新島端夫, 岩動孝一郎, 梅田 孝, 岸 洋一, 東原英二, 赤座英之, 富永登志, 藤目 真, 原 徹, 木村 明, 平野美和, 鈴木 明, 平沢 潔, 吉田雅彦, 徳田 拓, 柴本賢秀 : ESWL (Extracorporeal Shock Wave Lithotripter) の臨床経験. 日泌尿会誌, 76, 1460—1467, 1985.
- 4) 西村泰司, 本田 了, 川村直樹, 坪井成美, 広瀬始之, 鈴木 央, 山形健治, 渡辺 潤, 服部智任, 矢島勇臣, 大原正雄, 平澤精一, 長谷川潤, 原 眞, 吉田 和弘, 秋元成太 : 第3世代 ESWL (TRIPSTER X-1) による上部尿路結石治療の臨床経験. 日泌尿会誌, 80, 151—157, 1989.
- 5) 馬場志郎, 出口修宏, 早川邦弘, 橘 政昭, 実川正道, 島 亮, 田崎 寛 : 圧電式腎結石破碎装置による無麻酔体外衝撃波腎碎石術の経験. 日泌尿会誌, 79, 1919—1927, 1988.
- 6) 朝蔭裕之, 東原英二, 阿曾佳郎 : 圧電式碎石装置 (Piezolith 2200) を用いた体外衝撃波による上部尿路結石破碎術の経験. 日泌尿会誌, 80, 582—590, 1989.
- 7) 石川友清 編 : 自然および人工放射線源. 放射線概論, 第1版, p. 397—398, 通商産業研究社, 東京, 1989.

(1990年5月2日受理, 特別掲載)