

INTRODUCTION

The medical care systems of the United States and Japan have very different backgrounds. In 1990, the Patterns of Care Study (PCS) conducted a survey of the 1989 structure of radiation oncology facilities for the entire census of facilities in the United States. The results of the survey, together with trends in the structure of specialization since 1974, were reported in detail by Owen *et al.* (1). In 1991, the Japanese Society of Therapeutic Radiation Oncology (JASTRO) conducted the first national survey of the structure of radiotherapy (RT) facilities in Japan based on their status in 1990, with the results reported by Tsunemoto (2). The first comparison of these two national structure surveys to illustrate the similarities and differences present in 1989–1990 was conducted by Teshima *et al.* (3) and reported in 1995. The resultant international exchange of information proved valuable for both countries, because each could improve their own structure of radiation oncology using those data.

The Japanese structure of radiation oncology has improved in terms of the greater number of cancer patients who are treated with RT, as well as the public awareness of the importance of RT, although problems still exist that should be solved. The JASTRO has conducted national structure surveys every 2 years since 1990 (4). In Japan, an anticancer law was enacted in 2006 in response to patients' urgent petitions to the government. This law strongly advocates the promotion of RT and increasing the number of radiation oncologists (ROs) and medical physicists. The findings of the international comparisons and the consecutive structural data gathered and published by the JASTRO have been useful in convincing the Japanese bureaucracy of the importance of RT. In this report, the recent structure of radiation oncology in Japan is presented, with reference to data obtained from previous international comparisons.

METHODS AND MATERIALS

Between March 2006 and February 2007, the JASTRO conducted a questionnaire using a national structure survey of radiation oncology in 2005. The questionnaire included the number of treatment machines by type, number of personnel by category, and number of patients by type, site, and treatment modality. For variables measured over a period, data were requested for the calendar year

2005. The response rate was 712 (96.9%) of 735 of active facilities. The data from 511 institutions (69.5%) were registered in the International Directory of Radiotherapy Centres in Vienna, Austria in April 2007.

The PCS was introduced in Japan in 1996 (5–11). The PCS in the United States used structural stratification to analyze the national averages for the data in each survey item using two-stage cluster sampling. The Japanese PCS used similar methods. We stratified the RT facilities nationwide into four categories for the regular structure surveys. This stratification was based on academic conditions and the annual number of patients treated with RT in each institution, because the academic institutions require, and have access to, more resources for education and training and the annual caseload also constitutes essential information related to structure. For the present study, the following institutional stratification was used: A1, university hospitals/cancer centers treating ≥ 440 patients/y; A2, the same type of institutions treating ≤ 439 patients/y; B1, other national/public hospitals treating ≥ 130 patients/y; and B2, other national hospital/public hospitals treating ≤ 129 patients/y.

The Statistical Analysis Systems, version 8.02 (SAS Institute, Cary, NC), software program (12) was used for statistical analyses, and statistical significance was tested using the chi-square test, Student *t* test, or analysis of variance.

RESULTS

Current situation of radiation oncology in Japan

Table 1 shows that the numbers of new patients and total patients (new plus repeat) requiring RT in 2005 were estimated at approximately 162,000 and 198,000, respectively. According to the PCS stratification of institutions, almost 40% of the patients were treated at academic institutions (categories A1 and A2), even though these academic institutions constituted only 18% of the 732 RT facilities nationwide.

The cancer incidence in Japan in 2005 was estimated at 660,578 (13) with approximately 25% of all newly diagnosed patients treated with RT. The number has increased steadily during the past 10 years and is predicted to increase further (4).

Facility and equipment patterns

Table 2 lists the RT equipment and related function. In actual use were 767 linear accelerators, 11 telecobalt machines, 48 Gamma Knife machines, 65 ^{60}Co remote-controlled afterloading systems (RALSs), and 119 ^{192}Ir RALSs. The linear accelerator system used dual-energy function in 498 systems

Table 1. PCS stratification of radiotherapy facilities in Japan

Institution Category	Description	Facilities (n)	New patients (n)	Average new patients/facility* (n)	Total patients (new + repeat) (n)	Average total patients/facility* (n)
A1	UH and CC (≥ 440 patients/y)	66	45,866	694.9	54,885	831.6
A2	UH and CC (<440 patients/y)	67	17,161	256.1	21,415	319.6
B1	Other (≥ 130 patients/y)	290	71,627	247.0	88,757	306.1
B2	Other (<130 patients/y)	289	21,664	75.0	26,116	90.4
Total		712	156,318 [†]	219.5	191,173 [†]	268.5

Abbreviations: PCS = Patterns of Care Study; UH = university hospital; CC = cancer center hospital; Other = other national, city, or public hospital.

* $p < 0.0001$.

[†] Number of radiotherapy institutions was 735 in 2005, and number of new patients was estimated at approximately 162,000; corresponding number of total patients (new plus repeat) was 198,000.

Table 2. Equipment, its function and patient load per equipment by PCS institutional stratification

RT equipment and function	A1 (n = 66)		A2 (n = 67)		B1 (n = 290)		B2 (n = 289)		Total (n = 712)	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Linear accelerator	133		85		283		264		765	
With dual energy function	97	72.9*	62	72.9*	197	69.6*	142	53.8*	498	65.1*
With 3D-CRT function (MLC width ≤ 1.0 cm)	109	82.0*	59	69.4*	176	62.2*	118	44.7*	462	60.4*
With IMRT function	65	48.9*	25	29.4*	55	19.4*	25	9.5*	170	22.2*
Annual patients/linear accelerator	412.7 [†]		243.8 [†]		279.9 [†]		93.4 [†]		234.6 [†]	
Particle	5		0		1		1		7	
Tomotherapy	0		0		0		1		1	
Microtron	8		0		0		1		24	
Telecobalt (actual use)	7 (5)		6 (1)		7 (1)		14 (4)		34 (11)	
Gamma Knife	6		3		32		7		48	
⁶⁰ Co RALS (actual use)	8 (8)	12.1 [‡] (12.1)	13 (12)	19.4 [‡] (17.9)	41 (36)	14.1 [‡] (12.4)	12 (8)	4.2 [‡] (2.8)	74 (64)	10.4 [‡] (9.0)
¹⁹² Ir RALS (actual use)	53 (52)	80.3 [‡] (78.8)	27 (24)	38.8 [‡] (34.3)	35 (35)	12.1 [‡] (12.1)	8 (8)	2.8 [‡] (2.8)	123 (119)	17.1 [‡] (16.6)
¹³⁷ Cs RALS (actual use)	0 (0)		0 (0)		2 (2)		0 (0)		2 (2)	

Abbreviations: PCS = Patterns of Care Study; RT = radiotherapy; 3D-CRT = three-dimensional conformal radiotherapy; MLC = multileaf collimator; IMRT = intensity-modulated radiotherapy; RALS = remote-controlled after-loading system.

* Percentage calculated from number of systems using this function and total number of linear accelerator systems.

[†] Percentage calculated from number patients and number of institutions with linear accelerators; institutions without linear accelerators excluded from calculation.

[‡] Percentage of institutions that have this equipment (≥ 2 pieces of equipment per institution).

(65%), three-dimensional conformal RT in 462 (60%), and intensity-modulated RT (IMRT) in 170 (22%). These functions were installed more frequently in the equipment of academic institutions than in that of nonacademic institutions ($p < 0.0001$). The annual numbers of patients/linear accelerator were 413 for A1, 244 for A2, 280 for B1, and 93 for B2 institutions. The number of institutions with telecobalt machines in actual use showed a major decrease to 11. The Gamma-Knife machine was installed more frequently in B1 institutions. A significant replacement of ⁶⁰Co RALS by ¹⁹²Ir RALS was observed, especially in academic institutions. We had seven particle machines, three with carbon beam and five with proton beam RT. The total number of patients treated at the seven institutions was estimated at approximately 1,600 (1% of all new patients in Japan). Eleven advanced institutions were included in the A1 category and treated >800 patients annually. They were equipped with linear accelerators with dual-energy function (71% of the institutions), three-dimensional conformal RT function (89%) and IMRT function (70%), as well as with ¹⁹²Ir-RALS (90%) and a computed tomography (CT) simulator (100%).

Table 3 lists the RT planning and other equipment. X-ray simulators were installed in 70% of all institutions, and CT simulators in 55%. A significant difference was found in the rate of CT simulator installation by institutional stratification, from 91% in A1 to 45% in B2 institutions ($p < 0.0001$). Only a very few institutions used magnetic resonance imaging for RT, although computer use for RT recording was pervasive.

Staffing patterns and patient loads

Table 4 lists the staffing patterns and patients loads by institutional stratification. The total number of full-time equivalent (FTE) ROs in Japan was 774. The average number of FTE ROs was 4.41 for A1, 1.43 for A2, 0.89 for B1, and 0.45 for B2 institutions ($p < 0.0001$). The patient load/FTE RO in Japan was 247, and the number for A1, A2, B1, and B2 institutions was 189, 224, 343, and 202, respectively ($p < 0.0001$), with the patient load for B1 institutions by far the greatest. In Japan, 40% of the institutions providing RT had their own designated beds, and ROs must also take care of their inpatients. The percentage of distribution of institutions by patient load/FTE RO is shown in Fig. 1 and indicates that the largest number of facilities featured a patient/FTE staff level of 101–150, with 151–200 the second largest number. More than 60% of the institutions (438 of 712) had <1 FTE RO, as shown by the gray areas of the bars.

A similar trend for radiation technologists and their patient load by stratification of institutions was observed ($p < 0.0001$). The percentage of distribution of institutions by patient load/radiation technologist is also shown in Fig. 2. The largest number of facilities had a patient/RT technologist level in the 81–100 range, with 101–120 the second largest number. There were 117 full-time (and 30 part-time) medical physicists and 257 full-time (and 13 part-time) RT quality assurance staff. In this survey, duplication reporting of these personnel numbers could not be checked because of a lack of

Table 3. Radiotherapy planning and other equipments by PCS institutional stratification

RT planning and other equipment	A1 (n = 66)		A2 (n = 67)		B1 (n = 290)		B2 (n = 289)		Total (n = 712)	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
X-ray stimulator	58	84.8*	53	76.1*	201	68.6*	190	65.7*	502	69.7*
CT stimulator	66	90.9*	48	68.7*	163	54.8*	130	44.6*	407	55.3*
RTP computer (≥2)	209 (190)	100* (71.2)	114 (82)	94.0* (46.3)	336 (101)	95.9 (14.8)	281 (50)	88.6* (8.7)	940 (146)	93.1* (20.5)
MRI (≥2)	164 (153)	95.5* (78.8)	134 (124)	94.0* (79.1)	470 (351)	96.9 (55.9)	344 (148)	92.4* (24.6)	1,112 (338)	94.7* (47.5)
For RT only	3	3.0*	1	1.5*	5	1.7*	3	0.7*	12	1.4*
Computer use for RT recording	63	95.5*	62	92.5*	263	90.7*	238	82.4*	626	87.9*

Abbreviations: CT = computed tomography; RTP = radiotherapy planning; MRI = magnetic resonance imaging; other abbreviations as in Table 2.
* Percentage of institutions that have equipment (≥2 pieces of equipment per institution).

individual identification on staffing data. Finally, there were 907 nurses and clerks.

Distributions of primary sites, specific treatment and palliative treatment

Table 5 lists the distribution of primary sites by institutional stratification. The most common disease site was the breast, followed by lung/bronchus/mediastinum and genitourinary. In Japan, the number of patients with prostate cancer undergoing RT was approximately 13,200 in 2005, but the number has been increasing most rapidly. The stratification of institutions indicated that more patients with lung cancer were treated at the nonacademic institutions (B1 and B2), and more patients with head-and-neck cancer were treated at academic institutions (A1 and A2; $p < 0.0001$).

Table 6 lists the distribution of use of specific treatment and the number of patients treated with these modalities by the PCS stratification of institutions. Brachytherapy, such as intracavitary RT, interstitial RT, and radioactive iodine therapy, for prostate cancer was used more frequently in academic institutions than in nonacademic institutions ($p < 0.0001$). Similar trends were observed for other specific treatments such as total body RT, intraoperative RT, stereotactic brain RT, stereotactic body RT, IMRT, thermoradiotherapy, and RT of the pterygium by ^{90}Sr . In 2005, 4.6% of patients ($n = 755$) were treated with IMRT at 33 institutions. This percentage was significantly lower than that of institutions using linear accelerators with IMRT function (22%; Table 2).

Table 7 lists the number of patients with any type of brain metastasis or bone metastasis treated with RT according to the same institutional stratification. B1 institutions treated more patients with brain metastasis (11% of all patients) than other types of institutions ($p < 0.0001$), and the use of RT for bone metastasis ranged from 11% for A1 to 19% for B2 ($p < 0.0001$). Overall, more patients were treated with RT at non-academic type B2 institutions than at A1 or A2 institutions.

Geographic patterns

Figure 3 shows the geographic distributions of the annual number of patients (new plus repeat) per 1,000 population by 47 prefectures arranged in order of increasing number of JASTRO-certified physicians per 1,000,000 population (14). Significant differences were found in the use of RT, from 0.9 patients/1,000 population (Saitama and Okinawa) to 2.1 (Hokkaido). The average number of patients/1,000 population per quarter ranged from 1.37 to 1.57 ($p = 0.2796$). A tendency was found for a greater number of JASTRO-certified physicians to be accompanied by an increased use of RT for cancer patients, although the correlation was not statistically significant. The use rate of RT in a given prefecture was not necessarily related to its population density in 2005, just as we observed in the 1990 data (3).

DISCUSSION

In 1990, fewer facilities for RT were available and fewer patients were treated with RT in Japan than in the United States. However, the numbers for Japan improved

Table 4. Structure and personnel by PCS institutional stratification

	Structure and personnel				p-value	Total (n = 712)
	A1 (n = 66)	A2 (n = 67)	B1 (n = 290)	B2 (n = 289)		
Institutions/total institutions (%)	9.3	9.4	40.7	40.6		100
Institutions with RT bed (n)	57 (86.4)	35 (52.2)	127 (43.8)	68 (23.5)		287 (40.3)
Average RT beds/institution (n)	14.0	4.8	3.4	1.0		3.6
JASTRO-certified RO (full time)	181	62	139	44		426
Average JASTRO-certified RO/institution (n)	2.7	0.9	0.5	0.2	<0.0001	0.6
Total (full-time and part-time) RO FTE*	290.9	95.55	258.77	129.24		774.46
Average FTE ROs/institution	4.41	1.43	0.89	0.45	<0.0001	1.09
Patient load/FTE RO	188.7	224.1	343.0	202.1	<0.0001	246.8
Total RT* technologists	388.6	176.3	637.7	431.9		1634.5
Average technologists/institution (n)	5.9	2.6	2.2	1.5	<0.0001	2.3
Patient load/RT technologist	141.2	121.5	139.2	60.5	<0.0001	117.0
Total nurses/assistants/clerks (n)	202.2	92.4	390.55	221.8		907
Full-time medical physicists + part-time (n)	51 + 10.1	8 + 7	39 + 7	19 + 6		117 + 30.1
Full-time RT QA staff + part-time	81 + 0	31 + 7	102.5 + 3	42.3 + 3		256.8 + 13

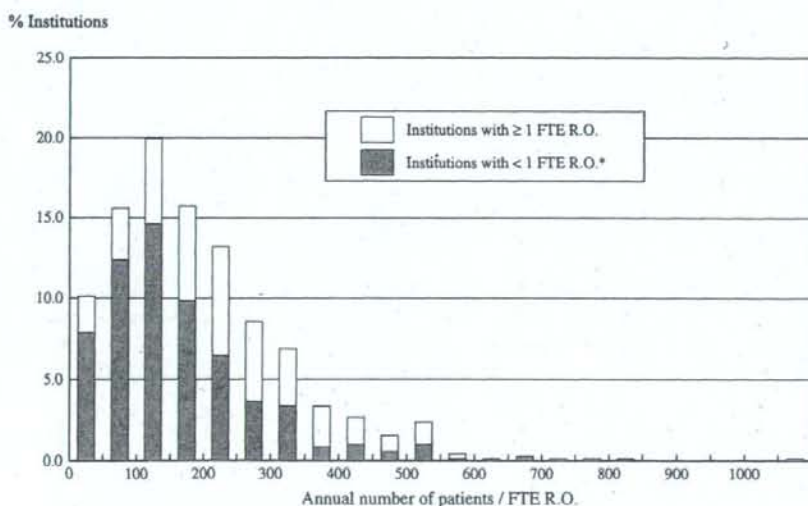
Abbreviations: JASTRO = Japanese Society of Therapeutic Radiation Oncology; RO = radiation oncologist; FTE = full-time equivalent (40 h/wk only for RT practice); QA = quality assurance; other abbreviations as in Table 2.

Data in parentheses are percentages.

significantly during the next 15 years, with respective increases by factors of 2 and 2.6 compared with those in 1990 (3). However, the use rate of RT for new cancer patients remained at 25%, less than one-half the ratio in the United States and European countries. The anticancer law was enacted in Japan to promote RT and education for ROs, as well as medical physicists or other staff members, from April 2006. For the implementation of this law, comparative data of the structure of radiation oncology in Japan and the United States, as well as relevant PCS data, proved helpful. Because

the increase in the elderly population of developed countries is the greatest in Japan, RT is expected to play an increasingly important role.

Compared with 1990, the number of linear accelerator systems increased significantly by 2.3 times, and the percentage of systems using telecobalt decreased to 7%. Furthermore, the functions of linear accelerators, such as dual energy, three-dimensional conformal RT (multileaf collimator width <1 cm), and IMRT improved. The number of high-dose-rate RALS in use increased by 1.4 times and the use of



* Number of FTEs for institutions with FTE<1 was calculated as FTE=1 to avoid overestimating patient' load/R.O.

Fig. 1. Percentage of institutions by patient load/full-time equivalent (FTE) staff of radiation oncologists (RO) in Japan. White bars represent institutions with one or more FTE staff, and gray bars represent institutions with fewer than one FTE radiation oncologist. Each bar represents interval of 50 patients/FTE radiation oncologist.

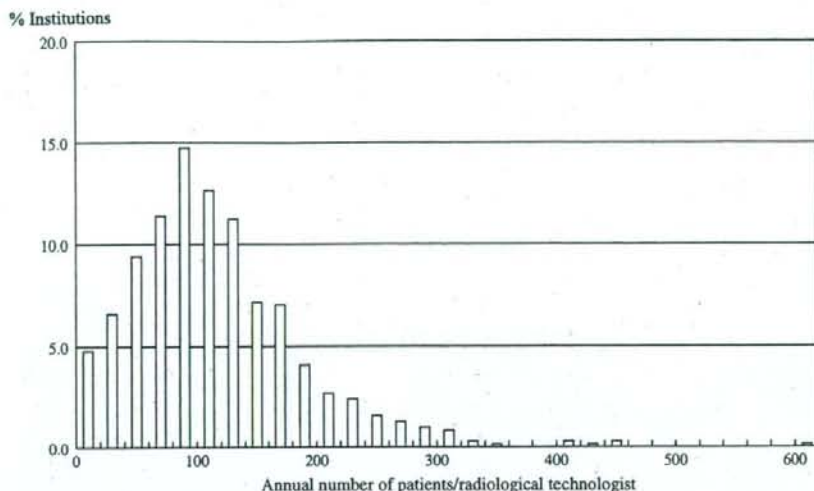


Fig. 2. Percentage of institutions by patient load/radiotherapy technologist in Japan. Each bar represents interval of 20 patients/full-time equivalent staff.

^{60}Co -RALS has largely been replaced by ^{192}Ir -RALS. CT simulators were installed in 55% of institutions nationwide, and RT planning systems were used in 93%, for an increase in the number of RT planning systems of 4.87 times. The maturity of the functions of linear accelerator and greater possession rates of CT simulators and systems using ^{192}Ir -RALS were closely related to the institutional stratification by PCS, which could therefore aid in the accurate discrimination of structural maturity and immaturity and the identification of structural targets to be improved. The Japanese PCS group published structural guidelines based on the PCS data (16), and we plan to use this structural data for a new PCS to revise the Japanese structural guidelines.

The staffing patterns in Japan also improved in terms of numbers. However, the institutions that had fewer than one FTE RO on their staff still accounted for >60% nationwide, and this rate did not change during the 15 years from 1990 to 2005. In Japan, most institutions still rely on part-time ROs. First, the number of cancer patients who require RT is increasing more rapidly than the number of ROs. Second, specialist fees for ROs in academic institutions are not recognized by the Japanese medical care insurance system, which is strictly controlled by the government. Most ROs must therefore work part-time at affiliated hospitals in the B1 and B2 groups to earn a living. Thus, to reduce the number of institutions that rely on part-time ROs and might encounter

Table 5. Primary sites of cancer treatment with RT in 2005 by PCS institutional stratification for new patients

Primary site	A1 (n = 65)		A2 (n = 67)		B1 (n = 285)		B2 (n = 284)		Total (n = 701)	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Cerebrospinal	2,603	5.6	770	4.5	4,431	6.4	795	3.6	8,599	5.6
Head and neck (including thyroid)	6,318	13.7	2,372	13.9	6,033	8.7	1,650	7.5	16,373	10.6
Esophagus	3,164	6.9	1,171	6.9	4,426	6.4	1,452	6.6	10,213	6.6
Lung, trachea, and mediastinum	7,069	15.3	2,639	15.5	14,946	21.5	5,386	24.6	30,040	19.4
Lung	5,469	11.8	2,272	13.3	12,917	18.6	4,734	21.6	25,392	16.4
Breast	8,945	19.4	3,049	17.9	14,148	20.4	4,119	18.8	30,261	19.6
Liver, biliary tract, pancreas	1,936	4.2	713	4.2	2,742	3.9	964	4.4	6,355	4.1
Gastric, small intestine, colorectal	1,897	4.1	806	4.7	3,742	5.4	1,399	6.4	7,844	5.1
Gynecologic	3,253	7.0	1,156	6.8	3,405	4.9	855	3.9	8,669	5.6
Urogenital	5,544	12.0	2,043	12.0	8,068	11.6	2,905	13.3	18,560	12.0
Prostate	4,290	9.3	1,385	8.1	5,627	8.1	1,916	8.8	13,218	8.6
Hematopoietic and lymphatic	2,460	5.3	1,052	6.2	3,624	5.2	904	4.1	8,040	5.2
Skin, bone, and soft tissue	1,607	3.5	749	4.4	1,830	2.6	1,018	4.6	5,204	3.4
Other (malignant)	705	1.5	235	1.4	822	1.2	313	1.4	2,075	1.3
Benign tumors	664	1.4	268	1.6	1,289	1.9	135	0.6	2,356	1.5
Pediatric <15 y (included in totals above)	435	0.9	123	0.7	187	0.3	302	1.4	1,047	0.7
Total	46,165	100	17,023	100	69,506	100	21,895	100	154,589 [†]	(100)

Abbreviations as in Table 2.

*Number of total number of new patients different with these data, because no data on primary sites were reported by some institutions.

Table 6. Distribution of specific treatments and numbers of patients treated with these modalities by PCS stratification of institutions

Specific therapy	A1 (n = 66)		A2 (n = 67)		B1 (n = 290)		B2 (n = 289)		p	Total (n = 712)	
	n	%	n	%	n	%	n	%		n	%
Intracavitary RT (n)									<0.0001		
Treatment facilities	61	92.4	37	55.2	71	24.5	12	4.2		181	25.4
Cases	1,670		527		974		75			3,246	
Interstitial RT									<0.0001		
Treatment facilities	42	63.6	14	20.9	18	6.2	5	1.7		79	11.1
Cases	1,818		286		638		31			2,773	
Radioactive iodine therapy for prostate cancer									<0.0001		
Treatment facilities	25	37.9	6	9.0	7	2.4	1	0.3		39	5.5
Cases	1,166		152		430		17			1,765	
Total body RT									<0.0001		
Treatment facilities	60	90.9	36	53.7	78	26.9	17	5.9		191	26.8
Cases	706		237		687		108			1,738	
Intraoperative RT									<0.0001		
Treatment facilities	23	34.8	12	17.9	20	7.0	11	3.8		66	9.3
Cases	212		39		111		25			387	
Stereotactic brain RT									<0.0001		
Treatment facilities	46	69.7	31	46.3	91	31.4	29	10.0		197	27.7
Cases	1,680		482		8,513		447			11,122	
Stereotactic body RT									<0.0001		
Treatment facilities	31	50.0	14	20.9	36	12.4	11	3.8		92	12.9
Cases	482		263		679		234			1,658	
IMRT									<0.0001		
Treatment facilities	16	24.2	4	6.0	12	4.1	1	0.3		33	4.6
Cases	426		67		212		50			755	
Thermoradiotherapy									0.0004		
Treatment facilities	10	15.2	4	6.0	15	5.2	7	2.4		36	5.1
Cases	339		27		134		81			581	

Abbreviations: PCS = Patterns of Care Study; RT = radiotherapy; IMRT = intensity-modulated radiotherapy.

problems with their quality of care, a drastic reform of our current medical care systems is required. However, great care is needed to ensure that the long-term success of radiation oncology in Japan and patient benefits are well balanced with the costs. Even under the current conditions, however, the number of FTE ROs increased by 2.1 times compared with the number in 1990 (3). However, the patient load/FTE RO also increased by 1.4 times to 247 during the same period, perhaps reflecting the growing popularity of RT because of recent advances in technology and improvement in clinical results. This caseload ratio in Japan has already exceeded the limit of the Blue Book guidelines of 200 patients/RO (15, 16). The percentage of distribution of institutions by patient load/RO showed a slightly smaller distribution than that of the United States in 1989 (3). Therefore, Japanese radiation oncology seems to be catching up quickly

with the western system despite limited resources. Furthermore, additional recruiting and education of ROs are now top priorities of the JASTRO.

The distribution of patient load/RT technologists showed that 13% of institutions met the narrow guideline range (100–120/RT technologist), and the rest were densely distributed around the peak. Compared with the distribution in the United States in 1989, >20% of institutions in Japan had a relatively low caseload of 10–60 because a large number of smaller B2-type institutions still accounted for nearly 40% of institutions exceeding the range of the guidelines. As for medical physicists, a similar analysis for patient load/FTE staff was difficult, because the number was still small, and they were working mainly in metropolitan areas. In Japan, radiation technologists have been acting as medical physicists, so that their education has been changed from 3 to 4 years

Table 7. Brain metastasis or bone metastasis patients treated with RT in 2005 by PCS institutional stratification

Metastasis	Patients				p	Total (n = 712)
	A1 (n = 66)	A2 (n = 67)	B1 (n = 290)	B2 (n = 289)		
Brain	2,565 (4.7)	1,204 (5.6)	9,774 (11.0)	1,778 (6.8)	<0.0001	15,321 (8.0)
Bone	6,243 (11.4)	2,845 (13.3)	13,331 (15.0)	5,057 (19.4)	<0.0001	27,476 (14.4)

Data presented as number of patients, with percentages in parentheses.

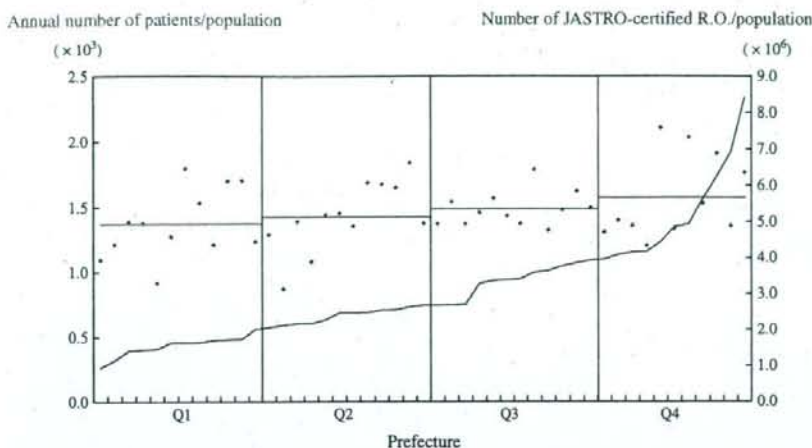


Fig. 3. Geographic distribution for 47 prefectures of annual number of patients (new plus repeat) per 1,000 population arranged in order of increasing number of Japanese Society of Therapeutic Radiation Oncology (JASTRO)-certified radiation oncologists (RO)/1,000,000 population by prefecture. Q1, 0–25%; Q2, 26–50%; Q3, 51–75%; and Q4, 76–100%. Horizontal bar shows average annual number of patients (new plus repeat) per 1,000 population of prefectures per quarter.

during the past decade and graduate and postgraduate courses have been introduced. Currently, those who have obtained a master's degree or radiation technologists with enough clinical experience can take the examination for qualification as a medical physicist, as can those with a master's degree in science or engineering, like those in the United States or Europe. In Japan, a unique education system for medical physicists might be developed because the anticancer law actively supports improvements in quality assurance/quality control specialization for RT. However, the validity of this education and training system remains unsatisfactory, because we are still in the trial-and-error stage.

The distribution of the primary site for RT showed that more lung cancer patients were treated in B1 or B2 nonacademic institutions and more head-and-neck cancer patients were treated in A1 or A2 academic institutions. These findings might be because more curative patients were referred to academic institutions and more palliative patients with lung cancer were treated in nonacademic institutions in Japan. In addition, more patients with bone metastasis were treated in nonacademic institutions. The use of specific treatments and the number of patients treated with these modalities were significantly affected by institutional stratification, with more specific treatments performed at academic institutions. These findings indicate that significant differences in the patterns of care, as reflected in the structure, process, and, possibly, outcomes for cancer patients still exist in Ja-

pan. These differences point to opportunities for improvement. We, therefore, based the Japanese Blue Book guidelines on this stratification by the PCS data (16) and are now in preparing to revise them accordingly.

The geographic patterns demonstrated significant differences among the prefectures in the use of RT, ranging from 0.9 to 2.1 patients/1,000 population. Furthermore, the number of JASTRO-certified physicians/population might be associated with the use of RT, so that a shortage of ROs or medical physicists on a regional basis will remain a major concern in Japan. The JASTRO has been making every effort to recruit and educate ROs and medical physicists through public relations, training courses, involvement in the national examination for physicians, and seeking to increase the reimbursement by the government-controlled insurance program, and other actions.

CONCLUSION

The Japanese structure of radiation oncology has clearly improved during the past 15 years in terms of equipment and its functions, although a shortage of manpower and differences in maturity by type of institution and caseload remain. Structural immaturity is an immediate target for improvement, and, for improvements in process and outcome, the PCS or National Cancer Database, which are currently operational and being closely examined, can be expected to play an important role in the future.

REFERENCES

- Owen JB, Coia LR, Hanks GE. Recent patterns of growth in radiation therapy facilities in the United States: A Patterns of Care Study report. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1992;24:983–986.
- Tsunemoto H, for the Japanese Society of Therapeutic Radiology and Oncology (JASTRO). Present status of Japanese radiation oncology: National survey of structure in 1990 (in Japanese). Tokyo: Japanese Society of Therapeutic Radiology and Oncology, 1992.
- Teshima T, Owen JB, Hanks GE, *et al.* A comparison of the structure of radiation oncology in the United States and Japan. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1996;34:235–242.

4. Shibuya H, Tsujii H. The structural characteristics of radiation oncology in Japan in 2003. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2005;62:1472-1476.
5. Tanisada K, Teshima T, Ikeda H, et al. A preliminary outcome analysis of the Patterns of Care Study in Japan for esophageal cancer patients with special reference to age: Non-surgery group. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2000;46:1223-1233.
6. Tanisada K, Teshima T, Ohno Y, et al. Patterns of Care Study quantitative evaluation of the quality of radiotherapy in Japan. *Cancer* 2002;95:164-171.
7. Uno T, Sumi M, Sawa Y, et al. Process of care and preliminary outcome in limited-stage small-cell lung cancer: Results of the 1995-1997 Patterns of Care Study in Japan. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2003;55:629-632.
8. Gomi K, Oguchi M, Hirokawa Y, et al. Process and preliminary outcome of a Patterns-of-Care Study of esophageal cancer in Japan: Patients treated with surgery and radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2003;56:813-822.
9. Sugiyama H, Teshima T, Ohno Y, et al. The Patterns of Care Study and regional cancer registry for non-small-cell lung cancer in Japan. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2003;56:1005-1012.
10. Mitsumori M, Hiraoka M, Negoro Y, et al. The Patterns of Care Study for breast-conserving therapy in Japan: Analysis of process survey from 1995 to 1997. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2005;62:1048-1054.
11. Teshima T, for the Japanese PCS Working Group. Patterns of Care Study in Japan. *Jpn J Clin Oncol* 2005;35:497-506.
12. SAS Institute Inc. SAS user's guide: statistics. Cary, NC: SAS Institute Inc.; 1985.
13. Oshima A, Kuroishi T, Tajima K, editors. Cancer statistics—2004. Tokyo: Shinohara Shuppan Shinsha; 2004. p. 207.
14. Statistics Bureau, Ministry of Internal Affairs and Communications. The 2005 population census, First basic complete tabulation. Available from: <http://www.stat.go.jp/english/data/kokusei/2005/kihon1/00/hyodai.htm>. Accessed May 17, 2007.
15. Parker RG, Bogardus CR, Hanks GE, et al. Radiation oncology in integrated cancer management: Report of the Inter-Society Council for Radiation Oncology. Merrifield, VA: American College of Radiology Publications, ISRO; 1991.
16. Japanese PCS Working Group. Radiation oncology in multidisciplinary cancer therapy—Basic structure requirement for quality assurance of radiotherapy based on Patterns of Care Study in Japan, 2005. Self-publication supported by the Ministry of Health, Welfare and Labor in Japan.

米国に学ぶ医学物理士の養成・活用法

大阪大学大学院医学系研究科 医用物理工学講座 教授
手島 昭樹 (てしま・てるき)
Stanford 大学医学部放射線腫瘍学部門 医学物理部 博士研究員
山本 時裕 (やまもと・ときひろ)



はじめに

放射線治療を必要とするがん患者の増加、治療装置の高精度化による複雑な業務、頻発する医療事故、欧米に遅れる医療機器開発等のために放射線治療現場に放射線腫瘍医、診療放射線技師に加えた新たな職種として医学物理士の参入が強く要望されている。がん対策基本法と同基本計画でもその職種の必要性が明記されている。本稿では医学物理士の現在および将来の需要を分析し、日米比較データも参考にして将来の医学物理士の需要を算定する。さらに、日米の医学物理士教育を比較して、これからわが国で整備する養成の参考とする。同時に、医学物理を担う高等教育には研究が含まれないとうまく機能しないであろう。最近の欧米の医学物理関係の研究の傾向を概観する。最後に、医学物理士の活用法について考案する。

医学物理士の需要

放射線治療患者数推移と将来予測：日本放射線腫瘍学会(JASTRO)の定期構造調査によると、2005年で16万2千人の新規がん患者、約20万人の総がん患者(新患+再患)が放射線治療を受けていた。この時点で、新規がん患者に対する放射線治療の適用率は25%である。欧米の60-70%に比べるとかなり低い(表1)¹⁾。がん診療体系、保険制度の違いも影響しているが、放射線腫瘍医数の人口比での少なさ(欧米の1/2)である証拠がある。現在、JASTROでも放射線腫瘍医育成を急いでいる。がんプロフェッショナル養成プラン(がんプロ)による支援によりさらに加速しなければならない。現在の患者数の伸び率から外挿すると、2015年には36万人の患者が放射線治療を必要とする。欧米並みの60-70%の適用率に到達すると仮定すれば、50万人と推定される。

表1 日米の放射線治療の構造比較

	日本 ¹⁾	米国*
調査年	2005	2004
人口(×10 ⁶)	127.7	293.9
施設数	735	293.9
新規患者数	約162,000	700,000
全がん患者に対する放射線治療適用率	約25%	60%
放射線腫瘍医数	774 FTE	約4,000
医学物理士	117**	約4,000

*米国データはASTRO 2004 Fact Sheetによる。現在、AAPM Directoryでは医学物理士数は約5,000人いるといわれている。 **日本の構造データでは医学物理士は診療放射線技師との兼任は除外されていない。

日米の構造比較とブルーブックガイドライン²⁾での需要の推定：2005年で米国では約5,000人の医学物理士が病院、研究機関、企業で活躍している。日本では117名である。多くが診療放射線技師との兼任業務である。ブルーブックガイドラインではがん患者総数400名に1名(専任)必要としている。現時点でも約500名の専任医学物理士(20万/400)が必要である。一方、上記2015年の需要を考慮すると総患者数は新患の1.2倍と仮定すると1,080名(36万×1.2/400)、欧米並みに増加した場合は1,500名(50万×1.2/400)の専任物理士が必要である。さらに研究開発を担う人材を考慮すると2,000人規模の人材が必要と推定される。

医学物理士の基礎教育

医学物理士教育システムの日米比較：図1に日本のシステムと米国との比較を示す。米国では一般的な理工系の物理コースを受講したものが修士から物理・医学物理コース並びに研究を行うケースが多い。その後、レジデントプログラム(日本の研修医制度のように病院より給料を得られる)を受けて臨床現場のトレーニングを積み、American Board of Radiology(ABR)の試験を得る。ポストドクプログラムの中には、研究に加えて臨床トレーニングを盛り込んでいる大学もある。現在の教育機関数を表2に示している。米国では2012年を目指して全員にレジデンスプログラムを課すため体制を整備している。さらに各施設の教育プログラム

に査察を加える予定である。

一方、大阪大学は学部教育で放射線技術科学を学び、卒業時に診療放射線技師の国家試験を受ける。その後、主に放射線腫瘍学を目指した保健学修士に医学物理の研究を通して教育を行っている。修士最終年度で日本医学放射線学会(JRS)の医学物理士認定試験を受ける。その後、多くは診療放射線技師としての2年間の臨床経験を経てJRSの最終認定を受ける。この際に臨床経験の内容は細かく規定されていない。実はこの部分の経験内容、所属機関と指導体制が医学物理士のキャリア形成に大きな影響を及ぼす。わが国での整備には臨床現場での放射線腫瘍医からの忍耐強い教育と指導が必須である。十分な症例数も必要である。臨床現場の多忙さから、教育を嫌う放射線腫瘍医は多い。米国の医学物理士の黎明期には優れた放射線腫瘍医が彼らの職種の重要性を認識し、傍^{PCSB}にいてその教育、研究、職域の確保を全面的に支援してきた。わが国の混沌とした状況下でも医学物理士の教育・育成に自助努力と同時に医師の懐深さが必須である。

既存カリキュラム+がんプロカリキュラムの比較：表3に現在の大阪大学におけるカリキュラムに今春、開始されたがんプロフェッショナル養成プラン(がんプロ)のカリキュラム(太字)を重ねたものを示している。既存の学部教育の不足分をこのがんプロで補ってきている。特に放射線基礎物理学として大阪大学核物理センター専任教員に詳細な講義を依頼している。後期には加速器測定実習を予定している。臨床実習は後述のレ



図1 日米の医学物理教育の比較(日本は大阪大学の場合である。がんプロの新規プログラムはこの図には盛り込んでいない。)

表2 米国 CAMPEP 認定施設と非認定施設における大学院とレジデント教育と今後

1) CAMPEP 認定施設

大学院教育

17 施設 (MS だけ: 3, PhD だけ: 1, MS と PhD 両方: 13)

レジデント教育

19 施設

- ・ 5 年毎の認定施設を見直し
- ・ シニア医学物理士グループによる調査団体が施設基準を満たすか判断 (REPRC: Residency Education Program Review Committee)

2) CAMPEP 非認定施設、AAPM 認定施設

大学院教育

31 施設

レジデント教育

9 施設

3) 米国における医学物理士試験資格の今後

ABR の方針として 2012 年以降、医学物理の修士(博士)課程を修了すること、あるいは他の修士(博士)修了者(主に工学系)でも、CAMPEP 認定(非認定)施設でのレジデンスプログラム*を修了することを義務付ける予定。

*レジデンスプログラム

- ・ 2 年のコース (6 ロテーション: 4 か月/ローテーション)
- ・ 臨床トレーニングが主
- ・ ロテーション毎の試験
- ・ 最後の 2 ロテーションは、外病院にて研修医学物理士として働く

(岡田伊織博士の好意による)

CAMPEP: Commission on Accreditation of Medical Physics Educational Program

レジデントプログラムとも絡むのだが、On the job training(OJT)に重点を置き、約1年間の訓練を課す計画である。しかし、がんプロの修士課程2年間では臨床研修期間としては不足している。既存の博士後期課程(保健学博士、医学博士)での訓練も視野に入れている。大阪大学ではその他として生物系教科が多い。一見、マイナス面のように見えるが、米国の医学物理研究チームの中に最近、少数ながら Biologist を参加させており、先取りしている面はあるかもしれない。

米国 Stanford 大学の Dosimetry Training Tool(DTT)³⁾は、日本は短期間に欧米のレベルに到達し、凌駕しなければならない。本年2月に米国の医学物理士教育を視察した。Stanford 大学ではインターネットを介した教育ツールである DTT を紹介された(表4)。年間1,000ドルで約5名の学生に Dosimetry に関する基礎から臨床の Web 教育を行うことができる。病理学、解剖学、放射線計測学、医学物理学、放射線生物学に分類され、テキスト表示で視覚的にも分かり易い図や動画が豊富で、理解の促進を図れる。プレテスト、本テストにより、理解度を受講生自身が評価でき、指導教員(チューター)が学生の理解状況を把握できる。大阪大学では今春より試験運用を始めている。当然、すべて英語なので学生に対する負担は大きいですが、英語教育も兼ねており、

有効な教育ツールと評価している。

医学物理士の臨床教育 (レジデントプログラム)

大阪大学で想定される臨床研修:大阪大学では今春、附属病院のオンコロジーセンターのもとに医学物理室が設置された。MD 教員1名、PhD を有する医学物理士資格を持つ教員2名、同修士1名について放射線治療計画(高精度ならびに小線源治療)の OJT を行うことを想定している。試行錯誤で、現場の需要に沿う形で徐々に整備していく予定である。がんプロコースでは約1年間課す予定だが、十分とは考えていない。医師研修に近いもので、医師とペアで行動させることが重要と考えている。放射線治療の患者さんへの適用の最前線、すなわち共通の責任を理解させることが重要である。ただこのプログラムへの経済的な裏付けがないのが、問題である。診療放射線技師職を有している場合は医療職としての裏付けがあるが、十分ではない。理工系の場合は大学や研究機関での研究職や教職しかない。

理工系コースの場合:医学的知識の背景のない理工系出身者に対する医学教育をがんプロの2年間のみで行うことには無理がある。しかし、不可能ではない。

表3 米国医学物理学会 AAPM 推奨カリキュラムと大阪大学カリキュラム(学部課程)+
がんプロカリキュラム(修士課程)*

米国	日本(大阪大学)
<u>1) Core topics</u>	
Radiation Physics and Dosimetry	Radiation Physics
Health Physics/Radiation Safety	Radiation Measurement
Radiation Biology	Radiation Biology
Anatomy and Physiology	Radiology, Introduction, Physiology
Computational Skills	Imaging Anatomy
Professional Ethics/Conflicts of Interest/Scientific Misconduct	Medical Ethics/Law/Economics
Statistical Methods in Medical Science	Radiation Safety Control
Safety : Electrical/Chemical/Biological/Elementary Radiation	
<u>2) Imaging Science</u>	
Conventional Planar Imaging	Medical Imaging
Digital X-ray Imaging and Computed Tomography	Radiographic Image Theory
Ultrasound Imaging	Image Information Science
Magnetic Resonance Imaging	Nuclear Magnetic Resonance
Nuclear Medicine	Nuclear Medicine
<u>3) Radiation Therapy</u>	
Radiation Oncology	Radiation Oncology I, II
External Beam Radiation Therapy	Radiotherapy Physics I, II
Brachytherapy	High Precision Radiotherapy, DTT
Treatment Planning	Brachytherapy, DTT
Radiation Therapy Device	Basic Radiation Physics
Special Technique in Radiotherapy	Particle Therapy, DTT
Radiation Therapy with Neutrons, Protons & Heavy Ions	Imaging Physics
Radiation Protection In Radiotherapy	Basic Radiation Physics Practice
	High Precision Radiotherapy Practice
	Brachytherapy Practice
	Particle Therapy Practice
<u>4) Miscellaneous (Osaka University only)</u>	
Medical Physics, Introduction	Biomedical Molecular Engineering
Medical Electronics Engineering	Medical Instrument Control
Clinical Pharmacology	Medical Instrument Engineering
System Control Engineering	Related Regulations
Allied Health Sciences, Introduction	Imaging Techniques
Medical Sociology	Electric Engineering
Biochemistry	Nursing
Radiochemistry and Radiopharmacology	Cardiovascular Technology
Biomedical Optics	Medical Informatics

太字はがんプロの新カリキュラムにて2008年4月より追加された教科

良く整備された詰め込み教育を行うことが必要となる。医師の忍耐強い関与は必須となる。レジデントプログラムでのOJTにおける補充教育も必要になる。病院医学物理士を目指す場合は医師によって臨床での資質を見極める必要がある。医学物理士の場合、研究機関、企業での活躍の場もあるので、適正に合った職を提供できれば良い。

医学物理研究の動向

教育システムだけ確立すればわが国でも優れた医学

物理士が育成されて精度高い医療が可能になるという考えは短絡的である。高等教育において教育と研究は車の両輪である。2008年のASTROの医学物理関係の教育講演、パネルを分析した。計(Educational session + Panels)76のうちMedical Physics関連は11(14.4%)ある。その内訳は、RTP 1、Brachy 1、SRS 1、IMRT 2、IGRT 5、Particle 1である。この比率が現在、米国の医学物理士が勢力を注いでいる分野を反映している。一方、日本では、加速器開発、IGRT、ATC、QA/QC、モンテカルロシミュレーション、Biological targeting、電子情報、粒子線関連で新規アイデ

表4 米国 Stanford 大学の Dosimetry Training Tool (DTT) の章項目³⁾

Fundamental of Cancer Management
Anatomy for Medical Dosimetrist
Radiobiology for Medical Dosimetrist
Fundamentals of Radiation Safety
Physics Fundamentals for Radiation Therapy
Production of Teletherapy Radiation
Radiation Sources for Brachytherapy
Radiological Imaging
Introduction to Dosemetry Instrumentation
Measurement of Dose in Radiation Oncology
Introduction to Teletherapy Dose Calculations
Brachytherapy Dose Calculations
Teletherapy Treatment Planning
Practice Dosimetry Problems
Radopgraphic and Virtual Simulation
Three-Dimensional Conformal Radiotherapy
High-Dose-Brachytherapy
Introduction to Radiotherapy by Permanent Seed Implants
Treatment Planning for Stereotactic Radiosurgery
Treatment Planning for Intensity-Modulated Radiotherapy
Dosimetric Quality Assurance for Radiation Oncology
Professional Issues for Medical Dosimetrists
Math Skills

アが生まれてきている。国民に貢献できる医学物理士の育成を図るために、以上の研究を高等教育に最初から組み込むべきで、資格の取得のみを最終目標とすべきではない。臨床、教育、研究をバランス良く実績をあげることは医者養成と同様のことであろう。

医学物理士の活用法

放射線腫瘍医である医師は患者の直接ケアに関わり、発生する臨床情報について責任がある。一方、医学物理士は装置と発生ビームなどの物理的要因すべてに責任を持つ。放射線腫瘍医と診療放射線技師のイコール・パートナーである。放射線治療は医療のなかであって特殊な領域かもしれない。外科でメスを振るのは医師であるが、放射線治療領域でメスを振るのは診療放射線技師であり、手術方法を指示するのは医師であり、それをより確実にするのが医学物理士である。3者のチームワークが必須で、データに基づいて論理的に進める上で要となるのが医学物理士である。これから放射線治療分野で3職種を揃えることの意味は大きい。従来の医師と診療放射線技師の1対1の関係では上下関係が生じたり、逆に一方に甘えが生じたりしていた。3者が独立して相互に刺激を与え、和の精神で臨めば、

欧米を凌駕する優れたシステムを構築できる可能性がある。この和がもたれあいにならないためには、常に客観データが重要で、医学物理士は情報管理においてもキー・プレイヤーを務めなくてはならない。

考案

日本の放射線治療のシステムで医学物理士教育が難しいという議論はそろそろ止めにし、何を次世代に残すか、果敢に行動しなければならぬ。明るい面は今のところ日本の臨床成績は欧米に決して劣っていないことである。また米国の1/2の医療コストで達成してきた事実もある。国際比較成績の検証結果を先ず国民に示しておくことが重要であろう。現場を担う臨床医が努力と犠牲も払っている事実を国民に示した上で、今後の患者への安心で質の高い治療を提供するためのインフラ補充の必要性についてデータに基づいた議論を展開しなければならない。

確かに米国の医学物理教育はシステム化され、優れている。個々の研究者のレベルも高い。それには待遇の良さもあり、優秀な人材が集まる仕組みができていく。日本でも医学物理士が臨床現場に出たときにやりがいのある環境を整えなければならない。医師に近い待遇と責任を与えるべきである。医学物理士の仕事に誇りを持たなければならない。そのためには後述の国家資格化も避けて通れない問題である。

日本の放射線治療現場の高精度化が従来の医師と診療放射線技師だけの体制では使いこなせなくなり、限界に近づいている。日本の医学物理士は Dosimetrist level を第一段階の到達目標とするものの、次の研究開発も想定して早期にギアをシフトさせなければならない。研究開発の素養を引き継ぎながら医学知識、臨床技量によるグレードアップを図るべきである。そこには技術系と理工系との明確な境界はないと思う。国民のがん治療を担う上での志と多層的アプローチが必要である。

文献

- 1) 手島昭樹, 渋谷均, 西尾正道, 他, JASTRO データベース委員会, 全国放射線治療施設の2005年定期構造調査報告(第1報), 日放腫誌 19: 181-192, 2007.
- 2) 日本PCS作業部会(厚生労働省がん研究助成金計画研究班14-6)がんの集学治療における放射線腫瘍学—医療実態調査研究に基づく放射線治療の品質確保に必要とされる基準構造—2005.
- 3) <http://www.dosimetrytrainingtool.com/dtt/portal/portal>

4. PCS (Patterns of Care Study) による日米間の放射線治療の比較

手島 昭樹*

日本 PCS 作業部会

(厚生労働省がん研究助成金計画研究班 8-27, 29, 10-17, 14-6, 18-4)

放射線治療は全国的にはインフラ（装備、人員）や診療内容の面で不備があるが、がん対策基本法の強力な支援を得て、整備が進められている。これらを具体的に測定・分析する方法として PCS (Patterns of Care Study) がある。1996年に厚生労働省がん研究助成金と米国 PCS の支援を得て導入した。施設規模による構造、過程、結果に顕著な差を観察した。放射線治療の現状と問題点を米国との比較のもとに考察する。

はじめに

PCS (Patterns of Care Study) は米国にて開発された放射線治療の診療の質保証プログラムである^{1,2)}。日本では医療実態調査研究と訳している。文字通り、ある年度の医療実態 (= 診療の質) をありのまま観察研究する。短期間に週及的に行う。診療の質とは Donabedian の質の評価モデルにあるように、構造 structure, 過程 process, 結果 outcome の3要素によって構成される。構造は装備や人員を含む。過程は患者評価や治療行為を示す。結果は患者の生存率や副作用発生率である。「十分な装備があり、正しく診療を行えば、良い治療結果が得られる」という仮説のもと、PCSでは短期間にこの3要素を国全体でモニタし、相互関係を分析し、問題点を特定して改善のため

の道筋をつける。国の「がん医療均てん化」施策を進める上で放射線治療分野についての必要な具体的なデータを提供できる強力なツールともいえる。1996年に厚生労働省がん研究助成金と米国 PCS グループの支援を得て初導入した。本稿では、得られた PCS データからわが国の放射線治療の現状と問題点を米国 PCS データとの比較のもとに考察する。

I. PCS の方法

放射線治療の診療の質を評価するために上記3要素をモニタし分析することが重要である。過程と結果については治療症例の診療内容を具体的に調べるのが医療供給側、受益者(患者)双方にとって最大の関心事なので測定する。PCSでは以下の手順で調査を進め

* Teruki Teshima 大阪大学大学院医学系研究科医用物理工学講座 教授

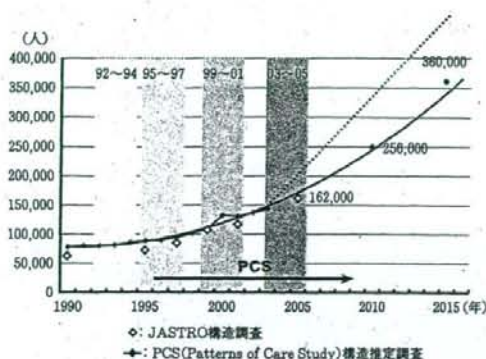


図1 PCSとJASTRO構造調査による患者数増加実態と予測曲線ならびにPCS施行対象年

放射線治療を要する新規患者数は今後10年で2倍以上に増加すると推定される(実線)。欧米並みに全がん患者への適応率50%が達成されると仮定するとさらに急峻な増加が予測される(破線)。

(文献1, 2, 4より引用)

る。①放射線治療が重要な役割を果たし、十分な症例数が確保されている5疾患：乳癌、子宮頸癌、食道癌、肺癌、前立腺癌を対象とする。②現時点での標準治療、最新のガイドラインの内容を追跡できる調査項目を策定してコンピュータ化データベースDBを開発する。③構造は2年毎に行われている日本放射線腫瘍学会(JASTRO)の定期的構造調査結果を利用する。④各施設での治療症例の過程、結果に主力を注いで調査する。対象施設は構造に準拠した4施設層(A1:大学病院/がんセンターで年間430例以上治療, A2:同未満, B1:その他の国公立病院130例以上, B2:同未満)から無作為抽出し、その施設の該当年度の症例についてさらに無作為抽出を行う(2段階クラスタサンプリング)。DBを用いた訪問調査入力講習会で若手放射線腫瘍医を訓練して訪問調査auditを行う。全国700強の放射線治療施設があるが、そのうち約1割である70~80施設を抽出する。⑤集積データに統計補正をかけて診療実態の各調査項目の国全体の平均値national averageを求める。これを基準として各施設のデータと比較する。診療の質の定量評価を可能にする。

PCS (Patterns of Care Study)

FTE (full time equivalent; 週40時間放射線治療専任業務)

表1 日米の放射線治療の構造比較

	日本	米国
調査年	2005	2004
人口(×10 ⁶)	127.7	293.9
施設数	735	2,010
新規患者数	約162,000	700,000
がん患者への適用率	約25%	60%
放射線腫瘍医	776 FTE	約4,000
医学物理士	115	約4,000

FTE; full time equivalent (週40時間放射線治療専任業務=実質的マンパワーを示す。)

(文献4より引用)

現在までに4次のPCSを行ってきた(図1)。厚生労働省がん研究助成金の支援を得て1992~1994年(PCS92-94), 1995~1997年(PCS95-97), 1999~2001年(PCS99-01), 2003~2005年(PCS03-05)の実態を調査してきた。2001年と2003年に日米PCSワークショップ³⁾を開催し、以後も日米間の情報交換を行っている。

II. PCSの成果

1. 構造 structure

2005年時点で約16万2千人の新規がん患者(約19万6千人の新患+再患)に放射線治療を行っていた(表1)⁴⁾。過去15年間増加しており、さらに増加することが予測される(図1)。年間発生がん患者のうち約25%に放射線治療が行われている。米国は約70万人で放射線治療適用率は60%である。米国との差である約35%の患者が放射線治療の恩恵を受けていないことが示唆される。わが国のがん医療の構造問題とも言える。放射線腫瘍医776 full time equivalent (FTE; 週40時間放射線治療専任業務)人、医学物理士数115人は米国のそれぞれ約4,000人と比較して非常に少ない。

PCSでは既述のように全国の施設を規模と性格により4層に分類している。B施設層が全施設の81%、全患者の60%を占める⁵⁾。この4層で装置、人員に大

JASTRO (日本放射線腫瘍学会)

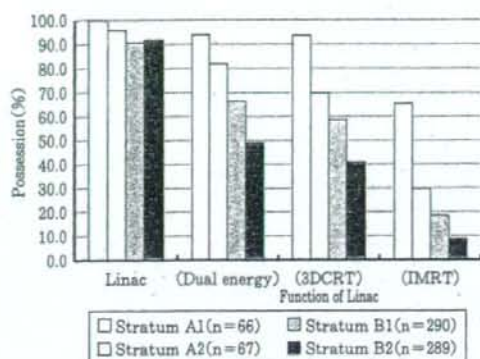


図2 2005年のPCS施設層毎のlinac保有率とその機能

Dual energy: 2つ以上のビームエネルギーが選択可能。3DCRT: 3 dimensional conformal radiotherapy, IMRT: intensity modulated radiotherapy (文献5より引用)

きな差がみられた。充実度はA1→B2へと低下する。図2に外部放射線治療装置であるライナックとその機能を示している。患者の体表面、深部双方のがんにも対応できる dual energy 機能、腫瘍形状に応じて照射野を形成できる 3DCRT (3 dimensional conformal radiotherapy) 機能、照射野内の線量強度を変調させて腫瘍により高線量を、正常組織へは低線量を投与できる IMRT (intensity modulated radiotherapy) 機能はA施設の方が充実していた。幸いどの施設層も過去のPCS結果より有意に改善してきている。一方、米国の場合は装備について施設層間較差は日本程大きくない。1989年に米国の non-academic 施設 (日本のB施設相当) の患者数は409人で、Academic (同A施設相当) で1,022人であり、日本(2005年, 同130人, 430人) よりかなり成熟している⁶⁾。

1 FTE放射線腫瘍医当たりの年間患者数負荷の全国平均値は246.8人であった。A1, A2, B1の1/4で1 FTE放射線腫瘍医当たり300名以上(診療の質低下の改善警告値)治療していた(図3)⁷⁾。2005年の調査ではA1, A2施設の放射線腫瘍医が小規模のB2施設を支援している実態の重なりを排除できていない。

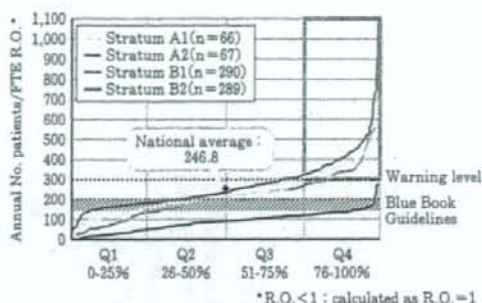


図3 2005年のPCS施設層別化による1 FTE放射線腫瘍医あたりの患者負荷の分布

FTE: full time equivalent (週40時間放射線治療専任業務)。横軸は各施設層において1 FTE放射線腫瘍医あたりの患者負荷数が低い施設から高い施設へと連続的に並べている。

Q1: 0~25%, Q2: 26~50%, Q3: 51~75%, Q4: 76~100%。

(文献7より引用)

日本では1名の放射線腫瘍医が日米のブルーブックガイドライン⁸⁾の推奨レベル(200人/1放射線腫瘍医)を凌駕した患者数を治療している。米国と比べて支援スタッフ寡少の日本では過酷な実態とも言える。図4に施設単位でみた一施設における年間患者数の分布と施設数(%)をみている。最も多い施設数は150~200人/FTE放射線腫瘍医であり、1989年の米国のデータに近似し改善してきている。しかし、不拔きパーで示すFTE<1の施設の比率は6割以上あり、この比率は15年間、全く変わっていない⁹⁾。

がん診療連携拠点病院ではそれぞれの施設層の中ではより規模が大きい傾向にあったが、十分とはいえず、半数弱(124/266施設=48.1%, 2007年3月時点)で常勤放射線腫瘍医(>1 FTE)が確保できていない⁷⁾。図5に人口100万人当たりのJASTRO認定数と1,000人当たりの放射線治療患者数を示す。後者は平均1.5人/1,000人であった。放射線治療の全がん患者への適用率が約25%であるので、欧米並みの約50%を仮定すると3.0人/1,000人ぐらいが標準といえる。一方、このデータを地域的にJASTRO認定医数が低い方から並べて放射線治療適用率をみると有

3DCRT (3 dimensional conformal radiotherapy)

IMRT (intensity modulated radiotherapy)

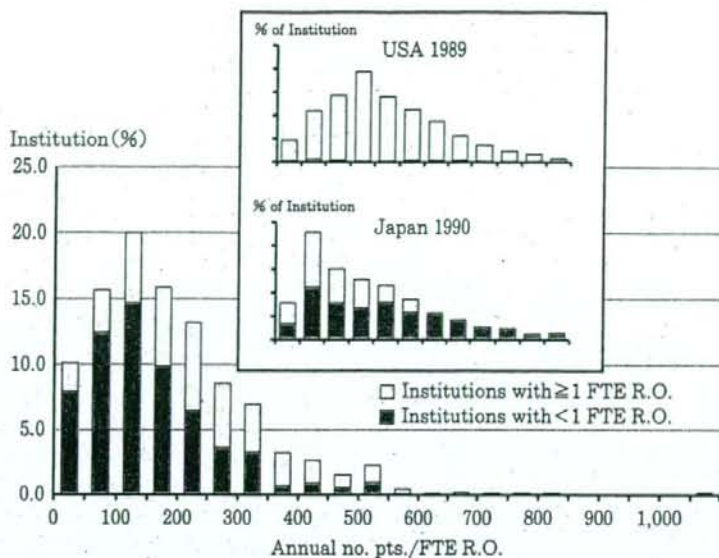


図4 2005年の1 FTE放射線腫瘍医あたりの年間患者負荷についての施設分布(%)
 上段は参照のための1989～1990年の日米の同様の解析結果。

(文献5より引用)

(上段図は文献6より引用)

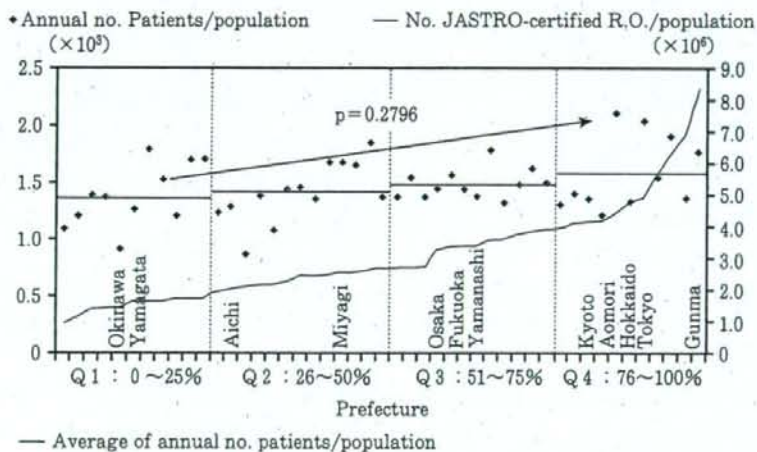


図5 2005年の都道府県人口別放射線治療適応率とJASTRO認定医数

左縦軸：人口1,000人当たりの放射線治療患者数，右縦軸：人口100万人当たりJASTRO認定数，横軸Q1：0～25%，Q2：26～50%，Q3：51～75%，Q4：76～100%。人口当たりJASTRO認定数を低い都道府県から高いものへ連続した実線で示す。各該当都道府県における人口当たりの放射線治療患者数を点で示す。1/4ブロック毎の平均値をバーで示す。
 (文献5より引用)

意差はないが、人口当たりの認定医数にある程度、放射線治療適用率が依存する傾向が観察された⁵⁾。

2. 過程 process

日本では構造同様に多くの過程の調査項目で施設層間の有意な差が存在する。いずれもA施設はB施設より概ね質の高いレベルの診療を行っていることが定量的に明らかとなった^{1, 2, 9)}。前立腺癌では身体深部にある前立腺癌の治療に適している10MV以上のビームエネルギー適用率、3次元治療適用率、より高い平均投与放射線量、72Gy以上の高線量投与率、電子portal image 使用率、同日多門照射施行率に有意差を認めた(A施設多)⁹⁾。乳癌ではCastやshellの使用率、CT (computed tomography) を用いたSimulation 施行率、MLC (multileaf collimator) 併用率に有意差を認めた(A施設多)。子宮頸癌では分割放射線量、手術併用例での腔内照射併用率に有意差を認めた(B施設少)。食道癌では外科手術併用率、腔内照射併用率、同日多門照射率、手術例でのリンパ節郭清率に有意差を認めた(A施設多)。脊髄線量も50Gy以上照射されていた(B施設多)。肺癌 SCLC (small cell lung carcinoma) では照射期間中の照射野縮小、同日多門照射、PCI (prophylactic cranial irradiation) 施行率に有意差を認めた(A施設多)。肺癌 NSCLC (non-small-cell lung cancer) 非手術例では化学療法併用率、対側縦隔放射線治療施行率、isodose line を用いた線量処方率に有意差を認めた(A施設多)。

日米比較では、日本のB施設の相当する施設は non-academic institute であるが、既述のように年間患者数は400名以上と多く、最近のPCSデータでは施設間の一般診療レベルの較差は無いといわれている⁹⁾。PCSにて観察された日米PCS比較所見を表2にまとめている。子宮頸癌では外部照射エネルギーを米国では18MV以上、4門照射を施行していた。日本は経年的に10MV以上の使用率が増加していた。中央遮蔽は日本で多く米国で少ない。腔内照射施行率は米国でよ

り高い。日本も経年的に改善していた。線量率は日本で8割がHDR (high dose rate)、米国は8割弱がLDR (low dose rate) であった。A点線量は米国で約40%高かった。治療期間は米国で10日ほど長かった¹⁰⁾。前立腺癌では放射線量は米国でより高くなっていた。68Gy未満も16%と少なかった。日本では47.5%が68Gy未満であった。76Gy以上の線量は米国で13%に施行されていたが、日本は0%であった。ホルモン療法は日本で圧倒的に使用率が高く、intermediate, high risk groupで9割以上、favorable risk groupでも72%であるのに対して、米国はそれぞれ54%, 79%, 31%であり、顕著な差があった。これは放射線治療線量の日米較差に影響していた。米国では1994年時のホルモン療法併用率は8%であったが、51%と著明に増加していた。CTを用いた治療計画は日本86%であったが、米国は96%であった。経年的に増加していた¹¹⁾。

3. 結果 outcome

肺癌 NSCLC の非手術例では、構造である常動放射線腫瘍医数 (1 FTE ≤ 対>) や装置ビームエネルギー (6MV ≤ 対>) で有意の生存率の差がみられた。また食道癌非手術例では、施設層によって (A対B) のstage別の生存率に有意差を認めた。肺癌 NSCLC の非手術例では、過程である放射線量 (6,000 cGy ≤ 対>) で生存率に有意差を認めた。子宮頸癌非手術例で、腔内照射の有無で生存率に顕著な差を認めた。一方、結果評価に必須な個々の患者の治療後の追跡率はPCSでは65%で、地域がん登録の99%と比較すると有意に低く、施設間較差も観察された¹²⁾。

III. 考察

PCSにより明らかとなったわが国の放射線治療の問題は、①構造：人員、設備が不十分であること、②過程：診療内容に施設間較差が存在し、過程記録と評

CT (computed tomography)

SCLC (small cell lung carcinoma)

NSCLC (non-small-cell lung cancer)

LDR (low dose rate)

MLC (multileaf collimator)

PCI (prophylactic cranial irradiation)

HDR (high dose rate)

表2 PCS 日米比較にて明らかとなった患者背景, 治療過程の違い

Uterine cervix cancer ¹⁰⁾ PCS survey year	Japan PCS		US PCS	
	1995 ~ 1997	1999 ~ 2001	1992 ~ 1994	1996 ~ 1996
PTV extended field	1%	3%	11%	
Beam energy 10-14 MV	57%	71%	19%	
15MV ≤	8%	3%	62%	
Technique APPA	95%	87%	19%	
4-fields box	2%	7%	80%	
Midline block	69%	70%	6%	
Intracavitary radiotherapy	77%	82%		93%
Dose rate LDR	8%	11%		78%
HDR	85%	89%		13%
Total dose to central tumor (median BED)		74 Gy ₁₀		103 Gy ₁₀
Overall treatment time (median)	49 days	47 days		57 days
Prostate cancer ¹¹⁾ PCS survey year	1996 ~ 1998	1999 ~ 2001	1994	1999
T stage ≥ 3	64%	46%	9%	7%
PSA ≥ 20 ng/ml	55%	50%	12%	19%
GS ≥ 8	31%	35%	19%	15%
Radiation dose (Gy) < 68	76%	48%		16%
68 to < 72	23%	45%		39%
72 to < 76	1%	8%		32%
76 - 80	0%	0%		13%
CT-based treatment planning	81%	86%	71%	96%
Hormone therapy usage	86%	90%	8%	51%
Risk factor Favorable	77%	72%		31%
Intermediate	85%	92%		54%
Unfavorable	87%	91%		79%

PTV ; planning target volume, LDR ; low dose rate, HDR ; high dose rate, BED ; biological effective dose.
(文献 10, 11 より引用)

価が全国的に充実していないこと, ③ 結果: 追跡率が十分でなく, 施設間較差が存在し, 結果記録と評価も充実していないことの3点が挙げられる。構造は放射線腫瘍医, 医学物理士などの人材不足が顕著で, 2005年時点で58%の放射線治療施設は常勤放射線腫瘍医を確保できていない。患者数増加に対して質の高い放射線治療を提供するためには, 今後10年で, 放射線腫瘍医1,200人, 医学物理士900人超の育成が必要と推定される。現状では人員の伸びは鈍く, 「がんプロフェッショナル養成プラン」や診療報酬改訂により, 人材育成と各放射線治療施設での装備充実の加速が望まれる。幸い, 装備は人員不足よりも改善されてきている。人員不足は, 医学部教育における癌診療の優先度, 他科との連携, 大学教育での専門分野間の交流の整備が必要である。新治療技術の導入と外科, 腫瘍内科との交流が研修システムの中に望まれる。現

在, JASTROでは医学生, 初期研修医への勧誘, 教育の充実, 国家試験問題への提言, 広報, 患者団体との協働, 看護セミナー充実, 行政への働きかけ, 他科リクルート検討など多彩な活動を行っている。放射線腫瘍医のパートナーとしての医学物理士教育も重要課題である。

地域別放射線治療適用率を分析し, 人口当たりのJASTRO認定医数に適用率が依存する傾向を観察した¹⁰⁾。このことは放射線治療適用率が外科腫瘍学, 内科腫瘍学との相対関係のみでなく, 放射線腫瘍医育成のわれわれ側の問題と捉えることができる。現在, 米国よりも35%低い適用率であるが, 仮に50%の適用率にするためには現在の2倍以上の放射線腫瘍医が必要と推定される。すなわち放射線腫瘍医育成は最優先課題として取り組まなければならない。同時に米国同様にほぼ同数の医学物理士もセットで育成しなければ

ならない。日米の教育制度が大きく異なるので、わが国に適応させた優れたシステムの構築が必要である。

過程については、治療前後の患者評価や治療行為の詳細を忠実に記録し、客観的に分析して現場に還元するサイクルが必要である。院内がん登録との連結を含む情報系の整備が鍵となる。放射線腫瘍学分野は画像を含めて複雑で膨大な放射線治療情報が発生している。他の専門分野に先駆けて確立しなければならない。得られたデータのうち、施設間、地域間格差、他エビデンスとの比較分析が必要である。放射線情報システムと院内がん登録情報との連結には個人情報への厳重管理が必須であるが、患者や家族の理解と支持も不可欠である。中川らの報告によるとがん登録に対する理解はまだ非常に低い。わかりやすい有用性や安全性の提示など、さらなる啓蒙が必要であろう。

結果は、患者や家族、国民に見える形で、放射線治療の利点、欠点を公正に示すことが重要である。PCSでは構造や過程でより優れた選択肢と想定された方で高い生存率が観察された。背景因子の違いを考慮しても、PCSで測定可能な診療情報が質評価の指標として機能していることを示唆していた。成績を分析して有効性、安全性のエビデンスを示すことが肝要である。しかし追跡調査にも施設間較差があることが明らかになった。PCSでは2段階クラスタサンプリングを用いているので、一般施設の追跡率は6割程度であるのが実態であろう。むしろPCS受諾施設はがん診療に積極的であるので国全体の真の実態はこれよりかなり低いと想定される。他の診療科も同様であろうが、特に放射線科は治療期間だけの追跡の場合が人材不足のため圧倒的に多い。現状では放射線治療の最終的結果を施設、地域、国レベルで満足に出せない状況である。このことを憂慮し情報系の整備を急ぐべきである。それなくして新規治療技術や研究開発がすべて表層的なものに陥る危険性があることを知るべきである。

・日米比較で顕著な違いが観察された。構造では、放射線治療患者数、適用率、人員が人口比で補正しても顕著に低かった。一方、過程では、子宮頸癌、前立腺癌では顕著な差が観察された。子宮頸癌では物理線量の正しさは米国物理士により検証されたので、線量規定法、全治療期間、体格の違いなどが原因として示唆

された。前立腺癌でもホルモン療法の日本での多用性やそれに伴う放射線線量の違いなど、今後、欧米発のエビデンスを取捨選択する上で、日米の診療体系や患者背景の違いなど多くの注意すべき点が示唆された。日米比較では対等な検証作業は困難で事実の明示のみにとどまる場合も多い。日本での検証過程は必須である。

謝辞

本研究は厚生労働省がん研究助成金計画研究班 8-27, 8-29, 10-17, 14-6, 18-4 の継続的支援により行われた。PCS 訪問調査と JASTRO 構造調査に協力いただいた全国の放射線治療施設の放射線科長、技師長、担当先生各位に感謝する。

文献

- 1) 手島昭樹ほか：特集 PCS (Patterns of Care Study) による放射線治療の現状と EBM. 癌の臨床 51 (13) : 983-1081, 2005
- 2) Teshima T, Japanese PCS Working Group : Patterns of Care Study. Jpn. J. Clin. Oncol. 35 (9) : 467-506, 2005
- 3) Teshima T, Frank J Wilson, et al : Japanese PCS Working Group and PCS Group of American College of Radiology. The 2nd Japan/USA PCS workshop at National Cancer Center, Tokyo : Meeting Report 2004, 1-61
- 4) 手島昭樹ほか：JASTRO データベース委員会、全国放射線治療施設の 2005 年定期構造調査報告 (第1報), 日放腫誌 19 : 181-192, 2007
- 5) Teshima T, et al : JASTRO Database Committee. Japanese Structure of Radiation Oncology in 2005 according to institutional stratification of Patterns of Care Study. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2008 Mar 26 : [Epub ahead of print] PMID : 18374515 [PubMed-as supplied by publisher]
- 6) Teshima T, et al : A comparison of the structure of radiation oncology in the United States and Japan. Int J Radiat Oncol Biol Phys 34 : 235-242, 1996
- 7) 手島昭樹ほか：JASTRO データベース委員会、全国放射線治療施設の 2005 年定期構造調査報告 (第2報), 日放腫誌 19 : 193-205, 2007
- 8) 日本 PCS 作業部会：がんの集学治療における放射線腫瘍学一医療実態調査研究に基づく放射線治療の品質確