

Thus, the density risk by the spot contamination level $DRSCL(k,t)$ is given by the spot contamination level $SCL(k,t)$ and the virtual density of a spot $VD(k)$ as follows:

$$DRSCL(k,t) = SCL(k,t) \cdot VD(k), \quad (5)$$

where $VD(k)$ is defined as the reciprocal of the virtual space size $VSS(k)$:

$$VD(k) = \frac{1}{VSS(k)}. \quad (6)$$

The agent contamination protection filter $ACPF(i)$ indicates the self-contamination protection with personal protective equipment. The spot hazard level after protection by the i th agent at the k th spot $SHLAP(k,i,t)$ is defined as follows:

$$SHLAP(k,i,t) = DRSCL(k,t) \cdot ACPF(i,t). \quad (7)$$

The agent attenuation filter $AAF(i,t)$ is given by both the environment agent attenuation filter $EnAAF(i,t)$ and the sterilization agent attenuation filter $StAAF(i,t)$ as follows:

$$AAF(i,t) = EnAAF(i,t) \cdot StAAF(i,t). \quad (8)$$

The agent contamination level $ACL(i,t)$ is given by

$$ACL(i,t) = SHLAP(k,i,t) + ACL(i,t-1) \cdot AAF(i,t-1). \quad (9)$$

Then the infectious possibility of an agent is given by both the agent's contamination level $ACL(i,t)$ and the agent's physical condition $PC(i)$, which is the individual immune level using vaccination as follows:

$$P(i,t) = 1 - e^{-PC(i) \cdot ACL(i,t)}. \quad (10)$$

3.3 Simulated Social Structures

In this investigation, detailed modeling of social structure using geographic information was inessential because the authors highlight the contamination and infection process of contact between spots and agents. Thus, minimum spot-consolidated elements of related infection are then considered.

The age distribution and approximate household sizes were based on the Japan Census 2005. The population by household, age, and urban structure are assumed as a city with a population of 10,000 in modeling the social structure and composition of population in this chapter.

The population by age group is categorized by six groups as in Table 2. The immune level ($PC(i)$) of both the middle and older generations is defined as being higher than that of baby, child, student, and young generations. We can see in

Table 2 The age distribution of the virtual city

Generation	Age	Population	Immune level	PC
Baby	0–5	531	0	1
Schoolchild	6–12	655	0	1
Student	13–18	597	0	1
Young	19–34	2,104	0	1
Middle	35–59	3,425	0.7	0.3
Old	60 over	2,688	0.7	0.3

Table 3 Household sizes

Household	Number of household	Population
1 Person	1,183	1,183
2 Persons	1,042	2,084
3 Persons	736	2,208
4 Persons	617	2,468
5 Persons	228	1,140
6 Persons	97	582
7 Persons	37	259
8 over Person	10	80

Table 4 Urban structure

Classification	Number	
School	Primary school	1
	High school	1
Office	Big office	1
	Middle office	5
	Small office	549
Transportation	1	
Hospital	1	

advance that the generation of later middle age (60% of the population) has had immunity to smallpox.

The population by household size is divided into eight types as in Table 3. The urban structure is categorized into seven parts, including residence, transportation, office, school, and hospital, as in Table 4. The office is divided into three types by size of enterprise, i.e., based on the number of workers.

3.4 Human Activity Model

An agent defined in the social structure model indicates some locations, such as home, school, and office, using transportation as shown in Fig. 3. The agent is in contact with other agents.

Fig. 3 The human activity model

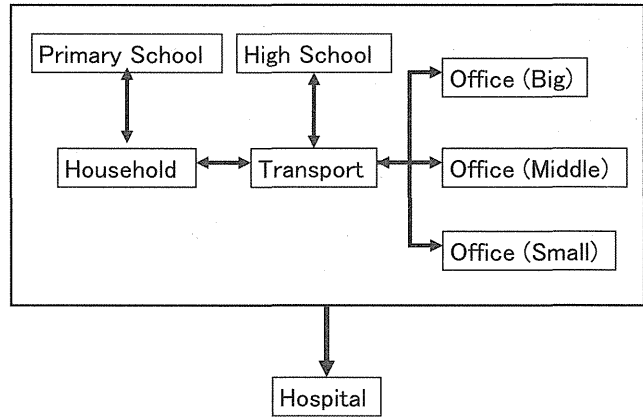


Table 5 Human activity

Human	Time	Activity
Schoolchild	8:00am	Go to school
	4:00pm	Go home
Student	8:00am	Use transportation
	9:00am	Go to high school
	3:00pm	Use transportation
	4:00pm	Go home
Young and Middle	8:00am	Use transportation
	9:00am	Go to office
	6:00pm	Use transportation
	7:00pm	Go home

In this section, the human activity model is described as the social activity of the inhabitants. The infected agent contaminates a spot by excretion of a virus, as formulated in the contamination and infection model. The uninfected agent becomes infected by means of entry into the contaminated spot.

The agent’s daily behavior involves the movement of the agent between home and school (or office), except for the baby or older generation, as shown in Table 5. Children shuttle directly between home and school. Students use transportation while they shuttle between home and school. Young or middle-aged workers also use transportation while they shuttle between home and office.

3.5 Intervention

There are some interventions in the agents’ behavior that can be implemented to prevent outbreaks of smallpox, such as quarantine (school closure, office closure, traffic closure) and vaccination.

In this chapter, the authors identified two types of intervention. One is quarantine (i.e., school closure) of elementary school and high schools; the other is two types of vaccination: mass vaccination and ring vaccination [12, 13]. The beginning of intervention is classified into four types of time lags (0, 10, 20, and 30 days).

The vaccination strategy includes vaccine supply, vaccination rate, and target. The amount of vaccine supply is classified into four types (10%, 20%, 50%, 100%) of coverage for the population. The vaccination rate is assumed as 300 people per day at a hospital. The vaccination target is categorized in combination with the targeted generation and coverage for ring vaccination. The targeted generation is categorized into two patterns: targeted mass vaccination, which is targeted to all generations and those who are randomly vaccinated; and generation-targeted mass vaccination, which is targeted to the susceptible generation (including babies, schoolchildren, students, and young workers). Ring vaccination is categorized into two patterns. One is limited coverage that is targeted to the patient, his or her family, and his or her coworkers (or classmates at school). The other is expanding coverage that targets the coworkers (or classmates) of the patient's family and the family of the patient's coworkers in addition to the limited coverage.

4 Simulation Results

In this section, we analyze the infection phenomenon on variations of the simulation in order to clarify the effects of intervention policies in the case of infection spread up to two weeks after the occurrence of smallpox bioterror event.

4.1 Conditions

We assume the initial conditions of the simulation scenario, including 50 initially infected people comprised of 10 persons each among schoolchild, high school student, young office worker, middle-aged office worker, and older person. The simulation begins at the time of patient outbreak. The unit of time is incremental progressions of 30 min. The parameters included in the formulation are as shown in the chapter entitled "Agent-based Simulation of Diversity and Organizational Performance" and in Table 6.

4.2 Illustrative Scenarios

We assume the initial conditions of the simulation scenario. There would be 50 initially infected people comprised of 10 persons each among schoolchild, high school student, young office worker, middle-aged office worker, and older person.

Figure 4 shows the number of infected persons that would occur without school closure. Figure 4a shows the scenario based upon a targeted mass vaccination; the number of infected persons with a short delay (0, 10 days) and high vaccine supply (50, 100%) is lower than with a long delay (20, 30 days) or low vaccine supply

Table 6 Parameters

Parameter	Name	Value
<i>EnSAF</i>	Environmental spot	0.8
	Attenuation filter	
<i>StSAF</i>	Sterilization spot	1
	Attenuation filter	
<i>VSS</i>	Virtual space size	400
<i>EPF</i>	Excretion protection filter	0.3
<i>EnAAF</i>	Environmental agent	0.8
	Attenuation filter	
<i>StAAF</i>	Sterilization agent	1
	Attenuation filter	
<i>Iso</i>	Admission rate	0.8
<i>Ability</i>	Vaccination ability	300
	(per day)	
<i>ACPF</i>	Agent contamination	1
	Protection filter	

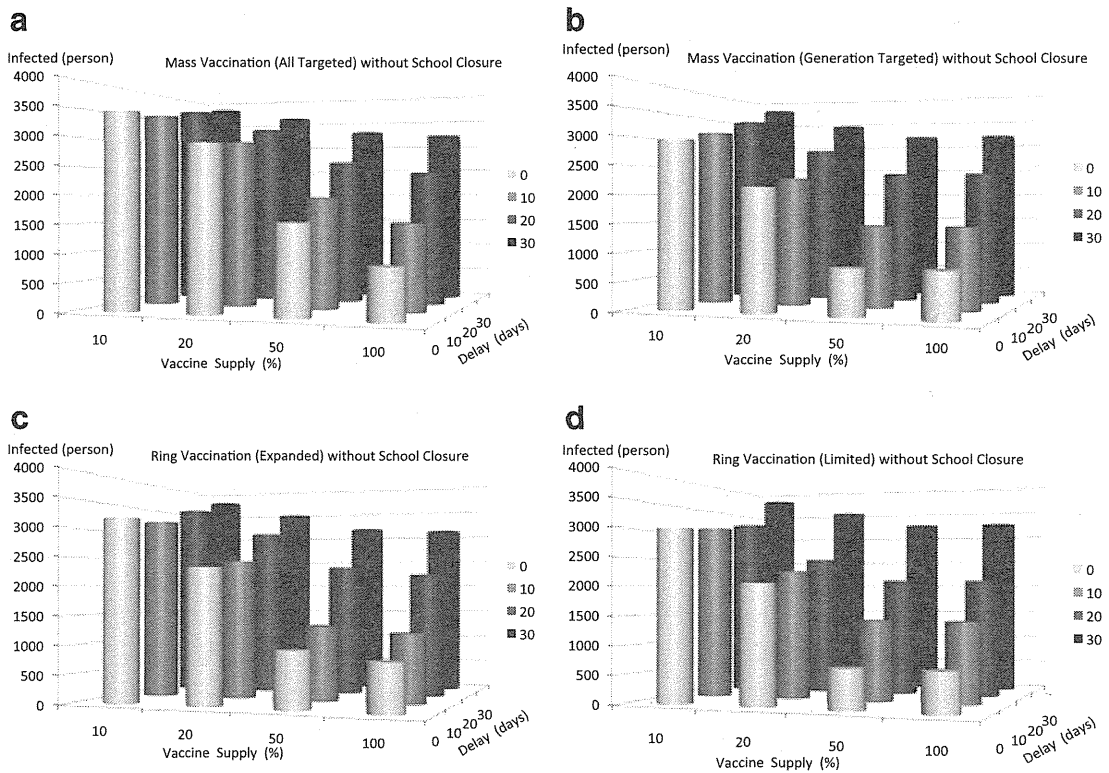


Fig. 4 The number of infected person without school closure. (a) All targeted mass vaccination (b) Generation-targeted mass vaccination (c) Expanded ring vaccination (d) Limited ring vaccination

(10, 20%). In particular, in the case of low vaccine supply, the number of infected persons is nearly equal between no delay and a delay of 10 days. The results imply that early and sufficient vaccination is obviously efficient. However, in the case of a long delay in vaccination, countermeasures are too late even if the vaccine supply

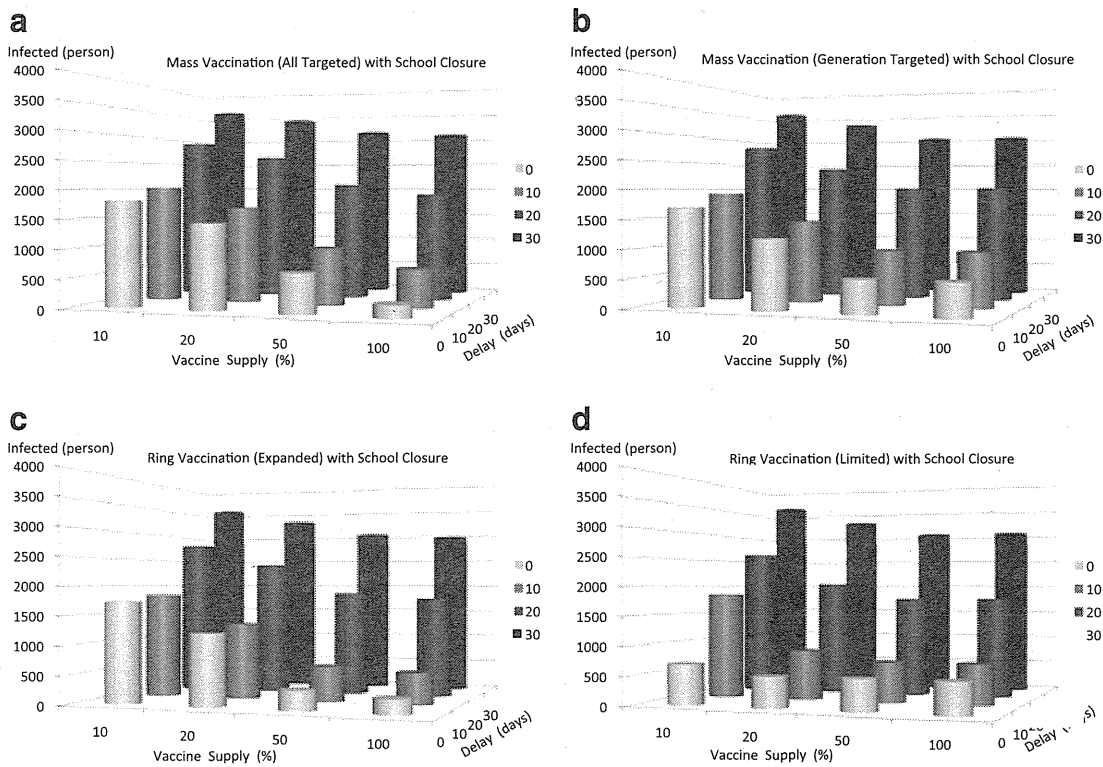


Fig. 5 The number of infected person with school closure. (a) All targeted mass vaccination (b) Generation-targeted mass vaccination (c) Expanded ring vaccination (d) Limited ring vaccination

is sufficient. Figure 4b,c shows the results of generation-targeted mass vaccination and expanded ring vaccination. The number of infected persons in the case of a short delay (0, 10 days) is significantly lower than with a long delay (20, 30 days). In this case, the number of infected persons with a 50% vaccine supply is the same as with 100%. Figure 4d shows the results of limited ring vaccination. There are clear differences in the tendency of a decrease in the number of infected persons in terms of vaccine supply between a 30-day delay and others. In the case of no delay, there is a significant effect of vaccination if the vaccine supply is over 50% of the population.

Comparing Fig. 4c with d in the case of no delay, the number of infected persons from an expanded ring vaccination is larger than that from a limited ring vaccination. This is because the coverage of vaccination was too wide and fell short of supply for the younger generation that does not have immunity. Therefore, the unvaccinated younger generation causes an infection increase in these cases.

Figure 5 shows the number of infected persons that would occur with school closure. In these cases, the countermeasure is simultaneous quarantine and vaccination. Figure 5a shows the general mass vaccination. While the number of infected persons in the case of both 100% vaccine supply and no delay is the lowest compared with the other scenarios, the number increases exponentially along with the delay in initiating vaccination. Figure 5b shows the generation-targeted mass vaccination. Compared to the cases of long delay, there are few infected

persons in the situation of short delay at every vaccine supply level. In these cases, the number of infected persons at a 50% vaccine supply is the same as at 100%. Figure 5c shows the effect of the expanded ring vaccination. The results of these cases are similar to the previous cases, and the number of infected persons in cases with a short delay and high vaccine supply is significantly less than those cases of generation-targeted mass vaccination. Figure 5d shows the effect of limited ring vaccination. The results of these cases in high vaccine supply are similar to the cases of other ring vaccination. In these cases, the number of infected persons with a 50% vaccine supply is the same as at 100%. In cases of a short delay, the number of infected persons was reduced despite the low vaccine supply.

5 Discussion

5.1 *The Effectiveness of School Closure*

As one can see in comparing Figs. 4 and 5, the number of infected persons following school closure is less than that without school closure. In particular, the shorter the response delay, the fewer the number of infected subjects. If the response delay is longer, however, the school closure will reduce the effectiveness. In delays of 20 and 30 days, the effect will be quite limited.

School closure is intended to reduce waves of infection spread to generations that have no immunity. Thus, even if the vaccination (supply amount or speed) was limited, the school closure realizes good results by reducing the first and second waves. Without school closure, the infection spread depends on the past acquired immunity of middle-aged and older generations. If the acquired immunity of the generation is insufficient, it would be required to implement vaccination for the younger generation, which has no immunity.

5.2 *The Effectiveness of Vaccination*

The effect of vaccination is determined by the amount of vaccine supply, the number of vaccinations per day, and the delay in starting vaccination.

We focused on the delay in starting vaccination. Regardless of school closure, comparing the effect of the delay of 10 and 20 days, it is clearly possible to attenuate the rate of infection with a delay of 10 days. Even if the amount of vaccine supply is inadequate, vaccination reduces infection with no more than 10 days' delay. It is also effective to combine earlier vaccination with school closure.

We then considered the combination of vaccination with school closure. Comparing expanded ring vaccination with limited ring vaccination, the effectiveness of expanded ring vaccination provides a small change in response with a vaccine

supplies of 10% or 20% because the vaccine supply is insufficient for susceptible individuals. In particular, the most effective policy for preventing infection is with limited ring vaccination with a 20% vaccine supply.

In addition to the effect of school closure, we considered that the time limit of vaccination is less than 20 days.

6 Conclusion

We developed a simulation of smallpox epidemics using an agent-based model. We also proposed an artificial social model that considered the agent's social behavior in urban and demographic structure using the SOARS-developed disease state transition. This chapter described an investigation about the timing, location, generation, and behavior of an outbreak of smallpox terrorism and the effectiveness of countermeasures, such as school closure, using social simulation.

The simulation results show (1) it is necessary to control the waves of infection spread to prevent diffusion of the virus; (2) in order to suppress the spread, a combination of school closure with vaccination is significant; (3) early school closure suppresses the speed of waves of infection spread despite the limited amount of vaccine supply; (4) vaccination is a method to acquire immunity for younger (non-immune) generations; thus, a difference in vaccination strategy influences the trend of outbreak among patients; (5) if the school closure and vaccination are delayed more than 20 days, the effect of suppression of infection spread falls; (6) in terms of vaccination strategies, target and speed are considered to be a tradeoff; thus, it is necessary to consider the quantitative evaluation of the relationship between the population of the non-immune generation and vaccination speed per day.

References

1. Saito T, Fujii T, Kanatani Y, Saijo M, Morikawa S, Yokote H, Takeuchi T, Kuwabara N (2009) Clinical and immunological response to attenuated tissue-cultured smallpox vaccine LC16m8. *J Am Med Assoc* 301(10):1025–1033
2. Meltzer MI, Damon I, LeDuc JW, Millar JD (2001) Modeling potential responses to smallpox as a bioterrorist weapon. *Emerg Infect Dis* 7–6:959–969
3. Nishiura H, Tang IM (2004) Modeling for a smallpox-vaccination policy against possible bioterrorism in Japan: the impact of long-lasting vaccinal immunity. *J Epidemiol* 14(2):41–50
4. Tanuma H, Deguchi H, Shimizu T (2005) SOARS: spot oriented agent role simulator - design and implementation. *Agent-based simulation: from modeling methodologies to real-world applications*, vol 1. Springer, Tokyo, pp 1–15
5. Deguchi H, Kanatani Y, Kaneda T, Koyama Y, Ichikawa M, Tanuma H (2006) Social simulation design for pandemic protection. *Proc First World Congr Soc Simulat* 1:21–28
6. Deguchi H, Saito T, Ichikawa M, Tanuma H (2011) Simulated tabletop exercise for risk management—anti bio-terrorism multi scenario simulated tabletop exercise. *Dev Bus Simul Exp Learn* 38:1–21

7. Wu JT, Riley S, Fraser C, Leung GM (2006) Reducing the impact of the next influenza pandemic using household-based public health interventions. *PLoS Med* 3(9) e361:1532–1540
8. Burke DS, Epstein JM, Cummings DAT, Parker JI, Cline KC, Singa RM, Chakravarty S (2006) Individual-based computational modeling of smallpox epidemic control strategies. *Acad Emerg Med* 13(11):1142–1149
9. Longini IM, Halloran ME, Nizam A, Yang Y, Xu S, Burke DS, Cummings DAT, Epstein JM (2007) Containing a large bioterrorist smallpox attack: a computer simulation approach. *Int J Infect Dis* 11:98–108
10. Riley S, Ferguson NM (2006) Smallpox transmission and control: spatial dynamics in Great Britain. *PNAS* 103(33):12637–12642. <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0510873103>
11. Breman JG, Henderson DA (2002) Diagnosis and management of smallpox. *New Engl J Med* 347:1300–1308
12. Porco TC, Holbrook KA, Fernyak SE, Portnoy DL, Reiter R, Aragón TJ (2004) Logistics of community smallpox control through contact tracing and ring vaccination: a stochastic network model. *BMC Public Health* 4:34. <http://www.biomedcentral.com/1471-2458/4/34>
13. Bozzette SA, Boer R, Bhatnagar V, Brower JL, Keeler EB, Morton SC, Stoto MA (2003) A model for a smallpox-vaccination policy. *New Engl J Med* 348:416–25

CBRNE事態における公衆衛生対応に関する研究【総括・分担用】

研究成果（雑誌）の刊行に関する一覧

（平成25年度：2013年4月1日～2014年3月31日迄、予定を含む）

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻	ページ	出版年 ※H24年度	GRANTへの 謝辞の有無
金谷泰宏	原子力災害に伴う公衆衛生対応について	保健医療科学	62	125-131	2013	無
金谷泰宏, 眞屋朋和, 富田奈穂子, 市川学, 出口弘.	社会シミュレーションを用いた保健医療サービスの評価	計測と制御	52	622-628	2013	無
山口一郎, 寺田宙, 樺田尚樹, 高橋邦彦	東京電力福島第一原子力発電所事故に起因した食品摂取由来の線量の推計	保健医療科学	62	138-143	2013	無
Suzuki M, Terada H, Unno N, Yamaguchi I, Kunugita N, Minakami H	Radioactive cesium (134Cs and 137Cs) content in human placenta after the Fukushima nuclear power plant accident.	J. Obstet. Gynaecol.	39	1406-1410	2013	無
Okamura Y, Kabata K, Kinoshita M, Miyazaki H, Saito A, Fujie T, Ohtsubo S, Saitoh D, Takeoka S.	Fragmentation of poly(lactic acid) nanosheets and their patchwork treatment for burn wounds.	Adv Mater Adv.	25	545-551	2013	無
Yokomichi H, Yokoyama T, Takahashi K, Yoshiike N, Yamagata Z, Tango T	An improved statistical method to estimate usual intake distribution of nutrients by age group	Journal of Nutrition & Food Sciences	3	2	2013	有
Yumiko Suto, Momoki Hirai, Miho Akiyama, Gen Kobashi, Masanari Itokawa, Makoto Akashi, and Nobuyuki Sugiura	Biodosimetry of restoration workers for Tokyo Electric Power Company (TEPCO) Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident.	Health Physics	105	366-373	2013	無
Yumiko Suto, Miho Akiyama, Takaya Gotoh and Momoki Hirai	A modified protocol for accurate detection of cell fusion-mediated premature chromosome condensation in human peripheral blood lymphocytes.	Cytologia	78	97-103	2013	無

特集：現存被ばく状況下における放射線リスクコミュニケーション

<総説>

原子力災害に伴う公衆衛生対応について

金谷泰宏

国立保健医療科学院健康危機管理研究部

Public health response to the nuclear accident

Yasuhiro KANATANI

Department of Health Crisis Management, National Institute of Public Health

抄録

平成11年に発生したJCO臨界事故を契機に原子力災害対策措置法が、災害対策基本法及び原子炉等規制法に関する法律の特別法として平成12年に施行された。しかしながら、東京電力福島原子力発電所事故では、同法に基づく防災対策が必ずしも十分に機能したとは言えない。とりわけ、今般の原子炉事故においては、避難住民に対するスクリーニング、安定ヨウ素剤の予防内服、災害時要援護者の支援、放射性物質によって汚染された遺体の扱い等の公衆衛生上の課題が指摘されている。昨今、同原子炉事故の教訓を踏まえ、原子力事故対策を支える制度の見直しが図られたところであり、本稿においては、今般の原子炉事故の教訓が、どのように新たな事故対応の枠組みに反映されたかについて、公衆衛生上の視点から解説する。

キーワード：原子力災害対策措置法，原子力発電所事故，公衆衛生

Abstract

The Act on Special Measures Concerning Nuclear Emergency Preparedness was established in 2000 as a specific act within the broader Disaster Control Measures and Reactor Regulation Act which was written in response to the JCO Criticality Accident of 1999. However, this regulatory system did not address all aspects of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. This was especially evident with public health issues. For example, radioactive screening, prophylactic use of potassium iodide, support for vulnerable people, and management of contaminated dead bodies were all requested immediately after the occurrence of the nuclear power plant accident but were not included in these regulatory acts. Recently, the regulatory system for nuclear accidents has been revised in response to this reactor accident. Herein we review the revised plan for nuclear reactor accidents in the context of public health.

keywords: Act on Special Measures Concerning Nuclear Emergency Preparedness, nuclear power plant accident, public health

(accepted for publication, 23rd April 2013)

連絡先：金谷泰宏

〒351-0197 埼玉県和光市南2-3-6

2-3-6, Minami, Wako-shi, Saitama, 351-0197, Japan.

Tel: 048-458-6111(代表)

Fax: 048-468-7983

E-mail: ykanatani@niph.go.jp

[平成25年4月23日受理]

I. 緒言

国際放射線防護委員会 (International Commission on Radiological Protection, ICRP) は、人が受ける放射線 (被ばく) を「計画被ばく状況 (計画的に管理できる平常時)」、「緊急時被ばく状況 (事故や核テロなどの非常事態)」、「現存被ばく状況 (事故後の回復や復旧の時期等)」の3つの状況に分けて、防護の基準を定めている [1]。「緊急時被ばく状況」においては、各国政府は、年間20~100mSvの範囲で状況に応じて適切に、避難を含む放射線防護措置を重点的に実施する対象を特定する目安としての線量水準を選択・設定し、被ばく線量を「合理的に達成可能なかぎり低く」の原則に従い、段階的に被ばく線量を低減・回避することとされている。年間20~100mSvの範囲のうち、どのレベルを選択するかについては、各国や事故により被災した現地の置かれている状況 (例えば、政府の防護措置の実施可能性や主な産業等の地域特性など) を総合的に勘案した上で判断することとなる。東京電力福島原子力発電所事故においては、事故直後の1年目から年間20~100mSvのうち最も厳しい値に相当する年間20mSvが避難指示の基準として採用された。一方で、厳しい値を選択した場合、避難範囲は拡大するとともに、避難者を支える後方支援も増強する必要に迫られることとなる。わが国においては、これまでの国内外の原子力事故を踏まえ原子力災害に向けた法整備が進められてきたところであるが、今般の原子炉事故の発生前までは、原子力災害時の公衆衛生対応についてはあまり取組まれてきたとは言えない。そこで、本稿においては、わが国の原子力災害に向けた法制度について概説するとともに、事故の経緯を踏まえつつ、新たな原子力災害対策について公衆衛生の視点から解説する。

II. 原子力災害対策を支える制度の概要

平成11年に茨城県東海村で発生したJCO臨界事故の教訓を生かし、より有効な災害対策の策定を目的とした原子力災害対策特別措置法 (以下「原災法」という。) が、災害対策基本法および原子炉等規制法の特別法として平成12年に施行された [2]。原災法は、原子力災害の特殊性に鑑み、原子炉等規制法、災害対策基本法等で不足する部分を補い、原子力災害に対する対策の強化を図ったもので、①初期動作の迅速化、②国と地方自治体の連携強化、③国の緊急時対応体制の強化、④原子力事業者の責務の明確化が4本柱となっている [2]。特に、緊急時に国と地方公共団体が緊密な連携を保ちながら対応できるよう、現地に緊急事態応急対策拠点施設 (オフサイトセンター) を設置し、原子力災害現地対策本部及び原子力災害合同対策協議会を組織して対応することが定められている。さらに、国レベルでは、原災法及び防災基本計画 (原子力災害対策編) に定める事項等を具体化する

ことで、関係省庁が連携して一体となった防災活動ができるよう「原子力災害対策マニュアル」が策定されている [3]。なお、平成23年の東京電力福島原子力発電所事故を受けて組織された「東京電力原子力発電所における事故調査・検証委員会」ならびに「国会東京電力福島原子力発電所事故調査委員会」による指摘事項等を踏まえ、「原子力災害対策マニュアル」の改訂が行われたところである。改訂の概要としては、オフサイト対策の対応体制と業務の明確化に向けて、政府一体となった住民避難、被ばく医療、被災者の生活支援・帰還支援等に取組むことが盛り込まれるとともに、事後対策の主な業務である、健康管理・除染・廃棄物対策等が、国の責務として明記された。一方、原子力災害対策指針に基づき、原子力災害対策重点区域を設定する都道府県及び市町村は、地域防災計画の中で、当該区域の対象となる原子力事業所を明確にした原子力災害対策を定めることとされているが、内閣府・消防庁は、各自治体に対して地域防災計画 (原子力災害対策編) 作成マニュアルを示している [4, 5]。

III. 東京電力福島原子力発電所事故後における主な公衆衛生対応の概要

東京電力福島原子力発電所事故後における公衆衛生上の課題として、放射線による健康被害からの住民の防護 (避難範囲の設定、放射能除染・スクリーニング、安定ヨウ素剤の予防内服) および避難時における災害時要援護者等の支援があげられる。とりわけ、今般の原子炉事故においては、地震と津波で死亡された方の遺体が放射性物質で汚染されるなど、新たな課題への対応が求められることとなった。以下に、事故後の公衆衛生上の対応について経緯と課題を示す。

1. 事故発生直後の住民の避難

平成23年3月11日16時36分、原子力災害対策特別措置法第15条1項2号の規定に該当する事象が発生し、原子力災害の拡大の防止を図るための応急の対策を実施する必要があると認められたことから、19時3分に同条の規定に基づき原子力緊急事態宣言が発せられた。しかしながら、放射性物質による施設の外部への影響は確認されていないことから、対象区域内の居住者、滞在者については、それぞれの自宅や現在の居場所で待機し、防災行政無線、テレビ、ラジオ等で最新の情報を得ることとされた。21時23分、福島第一原子力発電所より3km以内の住民 (約6,000人) に避難が指示され、3~10km圏内の住民には屋内退避が指示された。3月12日5時44分には10km以内の住民 (約51,000人) に対する避難指示がなされた。18時25分には20km以内の住民 (約78,000人) の避難が指示されることとなった。一方、東京電力福島第二原子力発電所では、12日7時45分に、3km以内の住民の避難が指示され、3~10km圏内の住民に対して屋内退避が指示された。さらに、17時39分には10km以

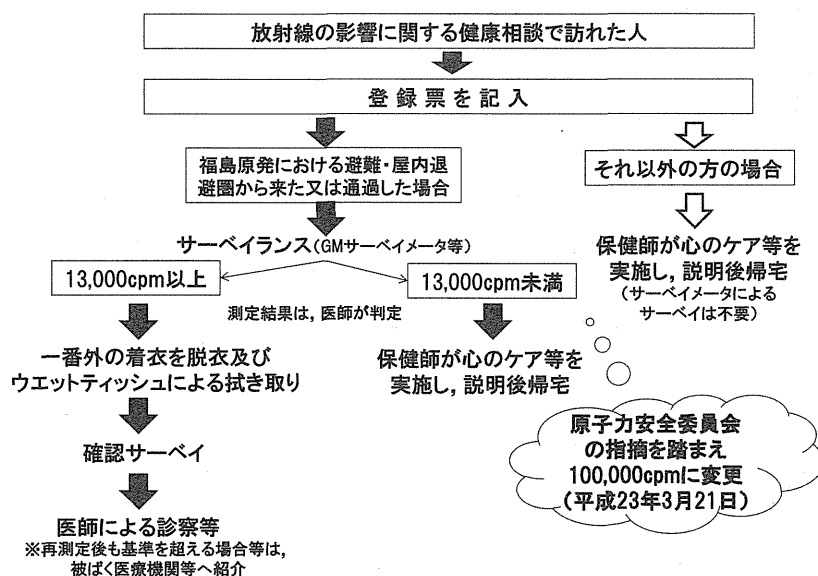


図1 放射線の影響に関する健康相談

内の住民に対する避難が指示された。

2. 放射能除染・スクリーニング

3月13日9時30分、福島県知事、大熊町長、双葉町長、富岡町長、浪江町長に対し、原災法に基づきスクリーニングが指示され、全身除染が開始された [6]。なお、現地においては、全身除染を行う場合のスクリーニングレベルは100,000cpm以上とされた。3月18日に至り、東京電力福島原子力発電所周辺の避難・屋内避難圏内から他県に避難した者や避難・屋内退避圏を通過した者に対する放射線の影響に関する健康相談が開始された [7]。なお、サーベイランスの対象は、避難・屋内退避圏から来た又は通過した者に限定され、それ以外については、保健師が心のケア等を実施し、説明後帰宅することとされた (図1)。避難・屋内退避圏から来た又は通過した者については、13,000cpmを除染 (一番外の着衣の脱衣及びウエットティッシュによる拭き取り) の下限とされたが、3月20日には、原子力安全委員会において、従来の除染基準である10,000cpmが100,000cpmまで引き上げられた [8]。なお、地域でのサーベイにあたっては、検査を行う診療放射線技師やサーベイメータの確保が急務とされた。

3. 安定ヨウ素剤の予防服用

3月16日10時35分、原子力災害対策現地本部長より、「避難区域 (半径20km) からの避難時における安定ヨウ素剤投与の指示」が、県知事及び市町村 (富岡町、双葉町、大熊町、浪江町、川内村、楢葉町、南相馬市、田村市、葛尾村、広野町、いわき市、飯館村) 宛に発出された [9]。しかしながら、三春町 (屋内避難区域 (30km) 県外) においても福島第一原発の爆発事故などを受け、

15日に住民に対して安定ヨウ素剤が配布された。福島県は17日までに、三春町に対して安定ヨウ素剤の回収を指示したが、既に住民の一部が内服することとなった。この事態を受けて、3月21日7時45分、原子力災害対策現地本部から「安定ヨウ素剤の服用について」として、安定ヨウ素剤の服用は、本部の指示を受け、医療関係者の立ち会いのもとで服用するものであり、個人の判断で服用しない旨の指示が、県知事及び関係市町村長 (富岡町、双葉町、大熊町、浪江町、川内村、楢葉町、南相馬市、田村市、葛尾村、広野町、いわき市、飯館村) 宛に発出された。

4. 災害時要援護者等の支援

災害時要援護者等における避難の対応状況として、東京電力福島第一原子力発電所から20km圏内の入院患者及び介護施設入居者については、避難指示の後、すみやかに搬送が終了した。一方、同原子力発電所より20~30km圏内の入院患者については、福島県と協力都道府県間との受入調整に基づき、搬送手続きが実施され、6病院、約700人の搬送が3月21日まで行われた [10]。また、同原子力発電所より20~30km圏内の介護施設への入居者については、入院患者と同様に協力都道府県と受入調整が行われ、18施設、約980人の搬送が3月22日までに終了した [10]。この際、福島県内からの患者受入れに際して、当該地域からの患者を受入れたとしても、患者や職員等に健康上の影響が生じるおそれがないにも関わらず、放射線の影響を懸念して受入れを躊躇する、あるいは、受入れに際して放射線の除染証明の提示を求める等の指摘もあったことから、厚生労働省災害対策本部より3月18日付で「福島県内からの患者の受入れについて (事務連絡)」が発出された [11]。

5. 遺体の取扱い

地震や津波により死亡された方の遺体のうち、放射性物質が付着した場合は、検死作業にあたる職員の被ばくへの影響を考慮する必要が生じることとなった。このため、遺体の放射性物質による汚染の確認と除染の手順が求められた。

福島第一原子力発電所が所在する福島県警双葉署管内ではNBC災害対処の原則に従い、本事例では東京電力福島第一原子力発電所から20km圏内避難指示区域をホットゾーン、30km圏をワームゾーンとして、その周辺部（浪江町津島中学校）に遺体安置所が設置された（図2）。しかしながら、空間線量測定の結果、空間線量屋外16.8 μ Sv/h、除染テント内8.8 μ Sv/hと、同遺体安置所は高線量地域に該当することが後日判明し、同安置所は3日間で閉鎖され、後方の相馬署管内遺体安置所へ統合されることとなった。なお、双葉署管内で収容された遺体の除染は、収容時に表面線量を計測し、水槽で一次除染を行った後、30km圏外へ搬出し遺体安置所収容時に再度表面線量を計測し、水洗浄により基準値（10,000cpm以下）になるまで二次除染を繰り返すという手順で行われた [12]。

原子力災害における放射性物質により汚染された遺体の取扱いについては、これまで具体的な規定はなく、「東京電力福島第一原子力発電所災害に係る避難指示区域内の御遺体の取扱いについて（厚生労働省 健衛発0331第2号 平成23年3月31日）」により、はじめて除染の手順が示された。

IV. 東京電力福島原子力発電所事故を踏まえた制度の見直し

東京電力福島原子力発電所事故後の主な公衆衛生対応

については、図3に示すとおり、原子力緊急事態宣言が出された後（3月11日）、スクリーニングが開始されるまで2日を要し、安定ヨウ素剤の内服指示まで5日を要したことがわかる。さらに、屋内退避区域に所在する6病院の入院患者の搬送については、事故発生後4日目（3月15日）から開始され、完全に搬送が終わるまでに約7日間を要した。一方、福島県外に避難された者に対する健康影響調査については、発災後7日目（3月18日）から開始されるなど、所定の対策の実施に際して、相当の期間を要したことが分かる。これらの課題の克服に向けて、原災法に基づく原子力災害対策指針、原子力災害対策マニュアル及び地域防災計画（原子力災害対応編）作成マニュアルの見直し、平成24年度に実施された。

今般の原子炉事故では、スクリーニングの対象者が大幅に想定を上回ったこと、安定ヨウ素剤の予防服用の時期を逸したこと、災害時要援護者とりわけ入院患者の搬送中における死亡が、公衆衛生上の大きな課題とされている。その主たる原因について、東京電力福島原子力発電所事故調査委員会における報告書（以下、「事故調査報告書」という。）は、「こうした事態をもたらした要因は、広範な避難区域設定を伴う大規模な原子力災害を想定していなかった地方自治体及び医療機関の防災計画の不備にあったと言わざるを得ない。」と指摘している [13]。

このような事態を回避するためには、「避難先・避難手段の確保における制度的担保」、「県地域防災計画における大規模原子力災害の想定」が不可欠であり、これらの指摘事項の、原災法に基づく指針及びマニュアルへの反映が急務である。具体的には、表1に示すとおり、災害時要援護者対応として、国レベルでは、原子力規制庁が予防的措置範囲（PAZ: Precautionary Action Zone）に指定されている自治体に対して事故警戒本部立ち上げの通知と併せて、対象区域内の高齢者、障がい者、外国人、

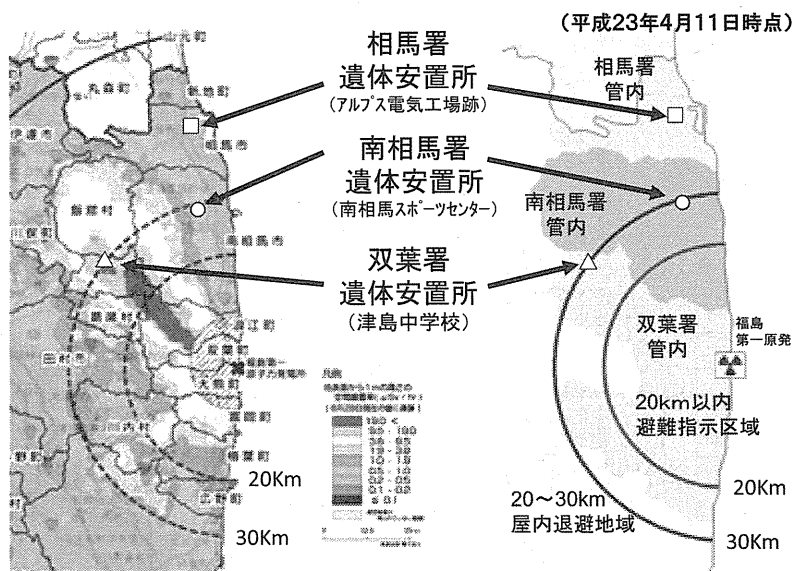


図2 遺体安置所の位置

原子力災害に伴う公衆衛生対応について

日時	公衆衛生面での対応
3月11日 午後7:03	原子力緊急事態宣言
3月11日 午後9:23	避難区域:東京電力福島第一原子力発電所より3km圏内に拡大
3月12日 午前5:44	避難区域:東京電力福島第一原子力発電所より10km圏内に拡大
3月12日 午後6:25	避難区域:東京電力福島第一原子力発電所より20km圏内に拡大
3月13日	放射線サーベイランス開始
3月15日	屋内退避区域からの入院患者の避難開始
3月16日	ヨウ素剤の内服指示
3月18日	健康相談開始
3月21日	6病院より入院患者700名を移送完了

(平成23年3月21日時点)

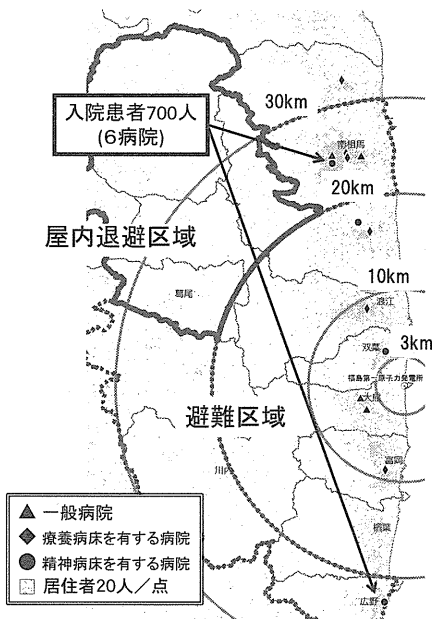


図3 原子炉事故後の公衆衛生対応の経緯

表1 原子力災害対策マニュアル及び地域防災計画(原子力災害対策編)作成マニュアルにおける公衆衛生対応について

項目	原子力災害対策マニュアル	地域防災計画(原子力災害対策編)作成マニュアル	
		県分	市町村分
災害時要援護者対応	原子力規制庁は、PAZ(※1)に指定されている地方公共団体に対し、事故警戒本部立ち上げの通知と併せて、対象区域内の高齢者、障がい者、外国人、乳幼児、妊産婦その他の災害時要援護者の避難準備など、警戒体制をとるよう要請する。また、PAZ内の関係地方公共団体等に情報提供を行うとともに、住民防護の準備(被ばく医療体制、放射線モニタリング体制及び避難体制等に関する準備)を要請する。	第3章 緊急事態応急対策(第4節 屋内退避、避難収容等の防護活動) 県は、市町村と連携し、国の協力を得て、避難誘導、避難場所での生活に関しては、災害時要援護者及び一時滞在者が避難中に健康状態を悪化させないこと等に十分配慮し、避難場所での健康状態の把握、福祉施設職員等の応援体制、応急仮設住宅への優先的入居、高齢者、障害者向け応急仮設住宅の設置等に努めるものとする。また、災害時要援護者に向けた情報の提供についても十分配慮するものとする。	第3章 緊急事態応急対策(第4節 屋内退避、避難収容等の防護活動) 避難対象区域を含む市(町村)は、県及び関係機関と連携し、国の協力を得て、災害時要援護者及び一時滞在者が避難中に健康状態を悪化させないこと等に十分配慮し、避難場所での健康状態の把握、福祉施設職員等の応援体制、応急仮設住宅への優先的入居、高齢者、障害者向け応急仮設住宅の設置等に努めるものとする。また、災害時要援護者に向けた情報の提供についても十分配慮するものとする。
病院等医療機関	5 避難、区域設定・管理 ERC(※2)チーム住民安全班は、現地住民安全班やERCチーム実動対処班を通じて、関係地方公共団体の避難状況を確認し、避難状況を定期的なまとめ、官邸チーム住民安全班及びERCチーム各機能班に共有する。 なお、避難状況の確認に当たっては、災害時要援護者、病院、福祉施設、学校、幼稚園、保育園等(以下「援護者等」という。)の避難について十分な把握に努めるものとする。	病院等医療機関は、原子力災害が発生し、避難の勧告・指示等があった場合は、あらかじめ機関ごとに定めた避難計画等に基づき、医師、看護師、職員等の指示・引率のもと、迅速かつ安全に、入院患者、外来患者、見舞客等を避難又は他の医療機関へ転院させるものとする。入院患者、外来患者、見舞客等を避難させた場合は、県に対し速やかにその旨連絡するものとする。 県は、病院等医療機関の避難が必要となった場合は、国の協力のもと、医師会等の関係機関と連携し、入院患者の転院先となる医療機関を調整するものとする。県内の医療機関では転院に対処できない場合は、関係周辺都道府県及び国に対し、受入れ協力を要請するものとする。	病院等医療機関の管理者は、県及び市(町村)と連携し、原子力災害時における避難経路、誘導責任者、誘導方法、患者の移送に必要な資機材の確保、避難時における医療の維持方法等についての避難計画を作成するものとする。 病院等医療機関は、原子力災害が発生し、避難の勧告・指示等があった場合は、あらかじめ機関ごとに定めた避難計画等に基づき、医師、看護師、職員等の指示・引率のもと、迅速かつ安全に、入院患者、外来患者、見舞客等を避難又は他の医療機関へ転院させるものとする。
社会福祉施設		社会福祉施設は、原子力災害が発生し、避難の勧告・指示等があった場合は、あらかじめ施設ごとに定めた避難計画等に基づき、職員の指示のもと、迅速かつ安全に、入所者又は利用者を避難させるものとする。入所者又は利用者を避難させた場合は、県に対し速やかにその旨連絡するものとする。 県は、被災施設からの転所が県内の他の施設では対処できない場合は、関係周辺都道府県及び国に対し、社会福祉施設等への受入れ協力を要請する等、避難先の調整のため必要な支援を行うものとする。	社会福祉施設の管理者は、県及び市(町村)と連携し、原子力災害時における避難場所、避難経路、誘導責任者、誘導方法、入所者等の移送に必要な資機材の確保、関係機関との連携方策等についての避難計画を作成するものとする。特に、入所者等の避難誘導体制に配慮した体制の整備を図るものとする。 社会福祉施設は、原子力災害が発生し、避難の勧告・指示等があった場合は、あらかじめ施設ごとに定めた避難計画等に基づき、職員の指示のもと、迅速かつ安全に、入所者又は利用者を避難させるものとする。

※1 PAZ:IAEAの安全要件及び安全指針において、確定的影響リスクを低減するために、施設の状況に基づいて、放射性物質等の放出前もしくは放出直後に予防的緊急防護措置を実施しなければならないとされている区域。
 ※2 ERC:緊急時対応センター(Emergency Response Center)、原子力緊急事態の発生時には国の原子力災害対策本部の事務局が設置される。

乳幼児、妊産婦その他の災害時要援護者の避難準備など、警戒体制をとるよう要請することとされ（原子力災害対策マニュアル）、都道府県及び市町村のレベルでは、避難誘導、避難場所での健康状態の把握等の対応、災害時要援護者への情報提供の実施が新たに盛り込まれた（地域防災計画（原子力災害対策編）作成マニュアル）。一方、病院等医療機関及び社会福祉施設の管理者は、県及び市（町村）と連携して、原子力災害時における避難経路、誘導責任者、誘導方法、患者の移送に必要な資機材の確保、避難時における医療の維持方法等についての避難計画を作成することが求められることとされた。また、病院等医療機関及び社会福祉施設は、原子力災害が発生し、避難の勧告・指示等があった場合は、あらかじめ機関ごとに定めた避難計画等に基づいて、医師、看護師、職員の指示・引率のもと、迅速かつ安全に、入院患者、外来患者、見舞客等を避難又は他の医療機関へ転院させることとなる。なお入院患者、外来患者、見舞客等を避難させた場合は、県に対し速やかにその旨連絡するものとする事とされた。県は、国と連携して、入院患者の転院先となる医療機関を確保することが求められることとされたが、これらの対応を円滑に進める上において、平素からの病院等医療機関と市町村及び都道府県とが連携した訓練等の実施が必要と考えられる。

公衆衛生上の課題として、安定ヨウ素剤の予防内服があげられるが、事故調査報告書は、「今後、本事故と同等又はそれ以上の規模の原子力災害が起こった場合、住民に対して空間線量や原子炉の状況に応じて適時にヨウ素剤の服用指示を行うことができるためには、運用上の介入レベルとしてのヨウ素剤の服用基準を定め、服用指示を速やかに住民に伝達するための市町村の対応策を整

備する必要がある。特に甲状腺がんのリスクが高いとされる小児が適切にヨウ素剤を服用できるよう体制を整えなくてはならない。」と、現行対策の是正を求めている [13]。現在（平成25年1月）、これらの指摘を盛り込んだ原子力災害対策指針（改訂原案）について、パブリックコメントが求められているところであるが、「安定ヨウ素剤の予防服用体制の整備として、PAZ域内については住民等への事前配布の導入、PAZ域外については地方公共団体による備蓄等を行うこと等」が明記されている。避難者に対するスクリーニングによる汚染程度の把握は、緊急被ばく医療のみならず、急性放射線障害の回避、安定ヨウ素剤の投与指示の判断基準、汚染の拡大防止等のためにも不可欠である。しかしながら、今般の事故では、想定を上回る数の対象者が発生したことで、十分な計測装置および計測者を確保することが困難であった等、スクリーニングの実施体制（場所、値の解釈、標準化、測定者の確保等）を平時から整える必要がある。今般の原子力災害対策指針の改訂の中で、「スクリーニングの実施体制の整備として、内部被ばくの抑制、皮膚被ばくの低減、汚染拡大の防止等のための避難所等における具体的な体制等」について記載されるとともに、表2に示すとおり、国、都道府県、市町村の役割として、市町村においては、スクリーニング場所等の情報を提供し、都道府県は、国と連携してスクリーニング及び除染を実施することとされた。

V. 結語

原子力災害における公衆衛生対応については、当該災害の広域性を勘案しつつ、平時からの人的、物的な体制

表2 原子力災害対策マニュアル及び地域防災計画（原子力災害対策編）作成マニュアルにおける公衆衛生対応について

項目	原子力災害対策マニュアル	地域防災計画（原子力災害対策編）作成マニュアル	
		県分	市町村分
スクリーニング	6 緊急輸送 放射線防護に係る対処 現地住民安全班及び医療班は、避難輸送に使用したバス車両、従事した運転者、乗車した避難民等が避難指示の対象区域から外部に移動する際には、中継ポイント等において自治体が行うスクリーニングの支援を行い、必要に応じ証明書を発行するとともに、スクリーニング結果に応じ必要な除染の支援を行う。	第3章 緊急事態応急対策 第4節 屋内退避、避難収容等の防護活動 県は、原子力事業者と連携し、国の協力を得ながら、指定公共機関の支援の下、住民等が避難区域等から避難した後に、住民等（避難輸送に使用する車両及びその乗務員を含む。）のスクリーニング及び除染を行うものとする。	第3章 緊急事態応急対策 第4節 屋内退避、避難誘導等の防護活動 避難対象区域を含む市（町村）は、住民等の避難誘導に当たっては、県と協力し、住民等に向けて、避難やスクリーニングの場所の所在、災害の概要その他の避難に資する情報の提供に努めるものとする。また、避難対象区域を含む市（町村）は、これらの情報について、原子力災害現地対策本部等及び県に対しても情報提供するものとする。
安定ヨウ素剤の予防服用	7 被ばく医療活動 安定ヨウ素剤の予防服用 官邸チーム医療班は、官邸チーム放射線班からモニタリングの結果及びその評価に関する情報を入手し、安定ヨウ素剤の予防服用に係る防護対策の指標を超える放射性ヨウ素の放出又はそのおそれがあると認めるときは、原子力災害対策指針（原災法第6条の2）を踏まえ、該当する地域において安定ヨウ素剤を服用すべき時期、服用の方法、医者・薬剤師の確保等に関する方針を検討し、原災本部長及び委員会委員長に上申し、指示内容を決定する。	第3章 緊急事態応急対策 第4節 屋内退避、避難収容等の防護活動 県は、原子力災害対策指針を踏まえ、国が決定した方針に従い、又は独自の判断により、安定ヨウ素剤の予防服用に係る防護対策の指標を超える放射性ヨウ素の放出又はそのおそれがある場合には、直ちに服用対象の避難者等が安定ヨウ素剤を服用できるよう、服用するべき時機及び服用の方法の指示、医師・薬剤師の確保等その他の必要な措置を講じるものとする。	第3章 緊急事態応急対策 第4節 屋内退避、避難誘導等の防護活動 市（町村）は、原子力災害対策指針を踏まえ、国が決定した方針に従い、又は独自の判断により、安定ヨウ素剤の予防服用に係る防護対策の指標を超える放射性ヨウ素の放出又はそのおそれがある場合には、直ちに服用対象の避難者等が安定ヨウ素剤を服用できるよう、服用するべき時機及び服用の方法の指示、医師・薬剤師の確保等その他の必要な措置を講じるものとする。

の構築と、迅速な情報把握に基づく住民避難が急務であり、とりわけ一連の対策を円滑に進めるためには、訓練等を通じた国、都道府県、市町村の連携体制の確認と強化が求められる。

引用文献

- [1] 日本アイソトープ協会. ICRP Publ.103国際放射線防護委員会の2007年勧告. 東京：丸善；2009.
- [2] 文部科学省原子力安全規制等懇談会，原子力防災検討会. 原子力災害特別措置法の施行状況について. 平成18年3月.
- [3] 原子力防災会議幹事会. 原子力災害対策マニュアル. 平成24年10月19日.
- [4] 内閣府，消防庁. 地域防災計画（原子力災害対策編）作成マニュアル（県分）. 昭和55年9月.
- [5] 内閣府，消防庁. 地域防災計画（原子力災害対策編）作成マニュアル（市町村分）. 昭和55年9月.
- [6] 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会. 中間報告（本文編）. 平成23年12月26日.
- [7] 厚生労働省健康局総務課地域保健室. 放射線の影響に関する健康調査について（依頼）. 平成23年3月18日.
- [8] 厚生労働省健康局総務課地域保健室. 放射線の影響に関する健康調査について（依頼）（一部修正及び追加）. 平成23年3月21日.
- [9] 原子力安全委員会緊急技術助言組織. 避難地域（半径20km以内）の残留者の避難時における安定ヨウ素剤の投与について. 平成23年3月16日.
- [10] 徳野慎一. 災害時における精神病院の避難. 臨床精神医学. 2011;40(11):1477-83.
- [11] 厚生労働省災害対策本部事務局. 福島県内からの患者の受入れについて（依頼）. 平成23年3月18日.
- [12] 染田英利，板橋仁，菅野明彦. 東日本大震災犠牲者の身元確認作業について—福島県相馬市および南相馬市における事例検討—. Japanese Journal of Disaster Medicine. 2012;17(1):200-6.
- [13] 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会. 国会事故調査委員会報告書. 平成24年7月.

事例紹介：特集

社会シミュレーション&サービスシステムが目指す世界

社会シミュレーションを用いた保健医療サービスの評価

金谷泰宏*・眞屋朋和***・富田奈穂子**
市川学***・出口弘***

* 国立保健医療科学院 健康危機管理研究部
** 国立保健医療科学院 国際協力研究部
*** 東京工業大学 大学院総合理工学研究所
* Dept. Health Crisis Management, National Institute of Public Health, 2-3-6 Minami, Wako-shi, Saitma, 351-0197, Japan
** Dept. International Health and Collaboration, National Institute of Public Health, 2-3-6 Minami, Wako-shi, Saitma, 351-0197, Japan
*** Department of Computational Intelligence and Systems Science Interdisciplinary, Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, 4259 Nagatsuta-cho, Midori-ku, Yokohama, Kanagawa, Japan
* E-mail: ykanatani@niph.go.jp

キーワード：救急医療 (emergency medicine)、医療計画 (medical plan)、医療連携 (medical cooperation)、社会シミュレーション (social simulation).
JL 0007/1375207-0622 © 2013 SICCE

1. はじめに

今日、われわれが直面しているさまざまな医療問題を解決する手法として、シミュレーション技術の活用が検討されてきたが、必ずしも現実社会を反映したものとは言えない。現実社会の問題を明らかにしていくためには、患者の発生や症状の個人差、また、診療現場における患者、医療関係者等の意思決定をモデルに反映する必要がある¹⁾。救急医療を例にとった場合、診察を必要とする患者、患者を搬送する救急隊、患者を受け入れる医療機関という複数の行為主体 (エージェント) が関わっており、それぞれが個々の意思を持って行動している。このようなさまざまなエージェントの関わりをモデル化する手法としてエージェントベースモデリング (Agent Based Modeling: ABM) がここ数年、脚光を浴びてきた。ABMとは、個々のエージェントが多様な意思決定基準に応じた自立的な活動を行い、それを制約条件や評価指標に基づいて機能的に分析することを狙いとしたモデリング手法であるが、ABMを用いることで、現実の受療行動および医療サービスを反映したモデルの構築が可能となる²⁾。出口らによって開発された Spot Oriented Agent Role Simulator (SOARS) は、このような、意思決定主体であるエージェントが存在するモデルを構築し、シミュレーションを行うための言語である³⁾。本稿においては、SOARSの保健医療分野への応用の事例として、夜間救急医療体制モデル及び地域医療連携モデルを紹介する。

2. 事例1：夜間救急医療モデルの開発と評価

2.1 背景

シミュレーションモデルを用いた救急医療体制の評価については、消防機関を対象としたものと、医療機関を対象としたものの2つに大別できる。消防機関に関するモデル

としては、大山らによる分析がある⁴⁾。大山らは、患者が消防機関に通報したのち医療機関に収容されるまでの収容時間が最小になるような消防機関の最適配置問題に取り組み、患者需要を考慮した消防機関の最適配置を示している。

しかし、疾病区分が考慮されていないこと、患者の救急需要をポアソン分布で取るなど問題全体に対してトップダウンの手法でモデル化が行われているため、搬送経路の違いなど詳細な都市構造については表現されていない。また、独歩受診患者、医療機関の患者収容に係る制約条件が考慮されていない等、実問題へのモデルの適用は難しい。

医療機関に関するモデルとしては、松本らによる分析がある⁵⁾。松本らは、医療機関における輪番制の効率化について、患者の移動距離の最小化を目的とした最適化問題に取り組んでいる。その結果、病院群輪番制の診療回数や病院のローテーションを変化させることにより移動距離の改善が見込まれることを示している。しかしながら、わが国の夜間救急医療に係る患者のアクセスコストを議論する上で、搬送時間の考慮は必要不可欠であり、この観点から本モデルも実問題への適用は困難と考えられた。

このように、従来手法では夜間救急医療における救急搬送時間の遅延問題を議論するには限界がある。そこで、医療機関と消防機関から構成される夜間救急医療システムのモデル化を構築し、病院群輪番制の有効性について、搬送時間の短縮という視点から評価を行った⁶⁾。

2.2 救急医療機関の構成

厚生労働省の考える夜間救急医療体制は、まず一次救急医療機関を受診し、検査や入院を必要とする重症患者であると診断された患者は、二次救急医療機関へ転送され、さらに高度な医療が必要な場合三次救急医療機関に搬送されるという体制である。なお、救急搬送に関しては、患者の症状に従って例外的に二次または三次の救急医療機関に直接搬送されることもある (図1)。

一次救急医療機関とは、「入院加療を必要としない救急患

表1 傷病発生と対応する診療科

住民の定義 (2.3.4)		医療機関の定義 (2.3.2)		初期対応診療科 (2.4)			専門科 (2.4)
傷病区分	ICD分類	診療科(実社会)	診療科(モデル)	小児	成人	高齢者	
脳血管疾患	IX-脳血管疾患	脳神経外科	脳神経外科	小児科	内科	内科	脳神経外科
心疾患	IX-高血圧性疾患, 心疾患	循環器科, 心臓血管外科	循環器科	小児科	内科	内科	循環器科
神経系	VI	神経内科	神経内科	小児科	内科	内科	神経内科
消化器系	XI	消化器科	消化器科	小児科	内科	内科	消化器科
呼吸器系	X	呼吸器科	呼吸器科	小児科	内科	内科	呼吸器科
外科系	XIII, XIX	外科, 整形外科, 救急科	外科	外科	外科	外科	外科
精神系	V	精神科	精神科	小児科	内科	内科	精神科
感覚器系	VII, VIII	内科	内科	小児科	内科	内科	内科
泌尿器系	XIV	泌尿器科	泌尿器科	小児科	内科	内科	泌尿器科
その他内科系	I, II, III, IV, XII, XV, XVI, XVII, XVIII, XX I	内科	内科	小児科	内科	内科	内科

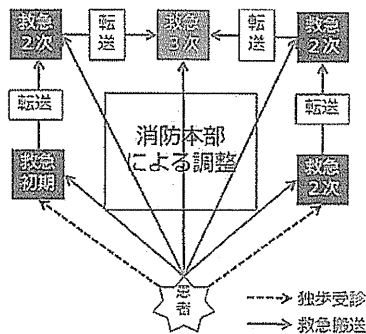


図1 救急搬送システム

者の診療を担う救急医療機関」を指し、二次救急医療機関とは、「生命の危険はないが、入院加療を必要とする重症救急患者の診療を担う救急医療機関」を指す。三次救急医療機関とは、二次救急医療機関では対応できない重症患者や、複数の診療科領域にわたるすべての重篤な救急患者の診療を担う救急医療機関を指す。

現行の夜間救急医療システムの枠組みは上記の通りであるが、実際には、自家用車やタクシーで受診する独立受診患者が二次救急医療機関へ集中することで、医療機関の対応が重なり搬送先医療機関の選定に時間を要することが懸念されている。

このように、夜間救急医療体制をモデル上に再現するためには、患者とその疾病の多様性による搬送経路や診療行為の違い、医療機関と消防機関間の患者収容に係る相互連携等、複数のエージェントの行動や意思決定をミクロレベルでモデル化し、システム全体としての行動を観察できるモデル化が必要となる。

2.3 夜間救急医療モデルの構築

実社会を反映したモデルを設計するにあたり、実際の統計情報に基づいた患者発生が不可欠であることから、トップダウンではなく、ボトムアップのモデル設計が求められる。そこで、ABMの手法を用いてモデル化を行った。具体的には、患者の年齢、傷病区分、傷病程度に応じた受療行

動、搬送経路、診療プロセスをモデルに組み込むことで、意思決定基準に従った自立的活動を行わせ、評価指標に基づいた夜間救急医療システムの分析を可能とした。なお、現実には即した制約条件として、医療機関における患者収容条件を設定することで、病院群輪番制が救急搬送時間に与える影響を検証した。

2.3.1 都市空間の定義

都市空間は、町丁単位の住民が居住する需要点であり、住民が発症し患者が発生する場である。

2.3.2 医療機関の定義

医療機関は、患者が収容される場であり、同時に、患者の診療を行う場である。本研究では、医療機関に設置される診療科に関して、その機能と特性に基づき10科に分類した(表1)。

2.3.3 消防機関の定義

消防機関は消防本部、消防署、救急車から構成される。消防本部：救急車の配車に関する中央制御の役割を担う主体で、住民からの通報を受けた後、各市区町村の消防機関への連絡と救急車配送の調整を行う。なお、消防本部は、消防組織法に基づき市区町村または一部事務組合、広域連合ごとに設置される。

消防署：救急車が待機する場である。

救急車：患者の救急搬送を行う主体であり、医療機関への患者収容に係る意思決定を行う主体である。

2.3.4 住民の定義

住民は、疾病を発症し、医療機関を受診する主体である。発症後の住民は患者となり、それぞれ固有の傷病区分と傷病程度を保持する。傷病区分については世界保健機関(WHO)が定める「疾病及び関連保健問題の国際統計分類(ICD)」に従い10種類に分類した⁷⁾(表1)。また、傷病程度に関しては、消防法に基づく「救急事故等報告要領」の死傷者の分類に従い3段階に分類した⁸⁾(表2)。

2.4 シナリオの流れ

夜間救急医療における一連の流れを図2に示す。受診先医療機関の選定に関して、独立受診患者は、医療圏内のす

表2 傷病程度の分類

傷病程度	定義
軽症	入院加療を必要としない程度。 一次救急医療機関以上の機能を有する医療機関で診療が可能。
中等症	3週間未満の入院が必要な程度。 二次救急医療機関以上の機能を有する医療機関で診療が可能。
重症	3週間以上の入院が必要な程度。 二次救急医療機関以上の機能を有する医療機関で診療が可能。

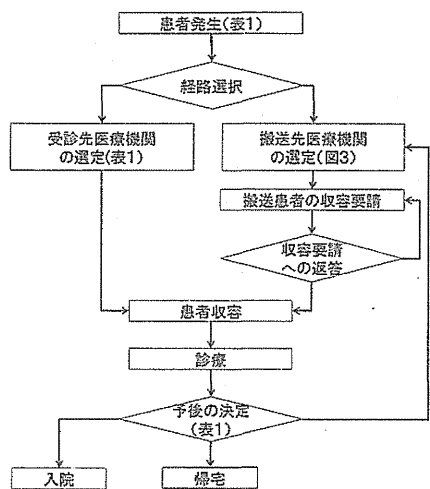


図2 シナリオのフロー図

すべての医療機関の中から、傷病区分に適した初期対応診療科の当直を置いて最寄りの医療機関を選択する。医療圏内に初期対応診療科の当直を行っている医療機関がない場合は、圏外の医療機関を受診する。傷病区分と初期対応診療科の関係は表1に従う。搬送先医療機関の選定に関して、救急搬送を選択した患者は救急車により医療機関へ収容されるが、その際、収容前の収容要請を行う医療機関として消防本部が保持する医療機関リストの中から患者区分に適した医療機関を選択する。医療機関選択に関するルールは図3に示す。予後決定に関しては、診療を終えた患者のうち傷病区分が軽症の患者はそのまま帰宅させる。中等症以上の患者は、診療を受けた医療機関が対応可能な専門科を日勤帯に設置している場合は入院となり、そうでない場合は、転送として再度他の医療機関に搬送となる。傷病区分と専門科の関係は表1に示す。

2.5 モデルの二次医療圏への適用

都市近郊の二次医療圏^(注1)にモデルを適用し、モデルの有効性の検証と対策を提示した。本モデルでは都市空間の

^(注1) 都市と周辺地域を一体とした日常生活圏で、一体の区域として、特殊な医療（先進的な技術が必要とするもの等）を除く入院医療や包括的な保健医療サービスが行われる区域であり、主として病院の一般病床および療養病床（診療所の療養病床を含む）の整備を図る地域的単位として認定されている。

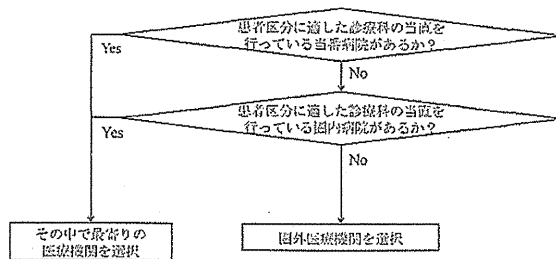


図3 医療機関選択ルール

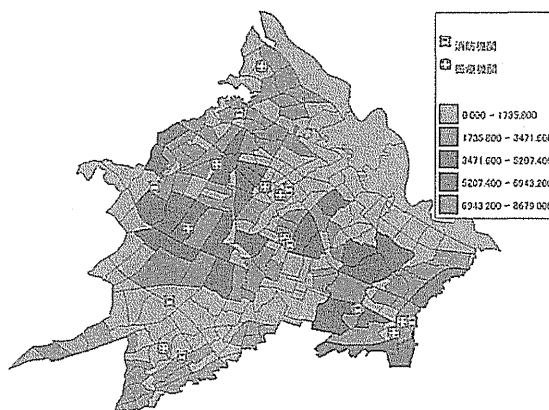


図4 モデルの対象とする二次医療圏

表3 初期設定

説明	値
総人口	448,485
市区町村数	4
都市空間数	226
医療機関数	9
消防署数	8
救急車数	12
消防本部数	1
救急車利用率	0.165
独歩患者移動速度	500m/分
救急車移動速度	1,000m/分
軽症診療時間	5分
中等症診療時間	30分
重症診療時間	60分

境界設定として、図4に示す二次医療圏内で閉じた空間を前提とした。救急搬送のルールとして、圏内の医療機関すべてが収容不可である場合の例外処理のために1つの「圏外医療機関」を設置することとした。圏外医療機関は救命救急センターなどの三次救急医療機関を想定し、すべての診療科を24時間開設すると設定した。基本となる都市モデルには、ArcGIS(ESRI ジャパン)から取得した地理情報を使用した。診療時間に関しては軽症10分、中等症30分、重症60分とした。また、発症確率、救急車利用率は、それぞれ平成20年度患者調査および救急・救助の概要のデータを用いた。基本設定で使用した各パラメータの値は表3に示した通りである。本モデルでは、この医療域における輪番制を基本設定のシナリオとして使用した。この地域では、