

201330025A

厚生労働科学研究費補助金  
健康安全・危機管理対策総合研究事業

CBRNE 事態における公衆衛生対応に関する研究

平成 25 年度 総括・分担研究報告書

平成 26（2014）年 3 月

研究代表者 金谷泰宏

厚生労働科学研究費補助金  
健康安全・危機管理対策総合研究事業

平成 25 年度 総括・分担研究報告書

CBRNE 事態における公衆衛生対応に関する研究

研究代表者 金谷泰宏 国立保健医療科学院健康危機管理研究部

研究分担者

石峯康浩 国立保健医療科学院健康危機管理研究部

山口一郎 国立保健医療科学院生活環境研究部放射線衛生

数藤由美子 独立行政法人放射線医学総合研究所生物線量評価研究チーム

齋藤大蔵 防衛医科大学校防衛医学研究センター外傷研究部門

市川学 東京工業大学大学院総合理工学研究科

高橋邦彦 名古屋大学大学院医学系研究科

高橋和郎 大阪府立公衆衛生研究所

灘岡陽子 東京都健康安全研究センター健康危機管理情報課

研究協力者

原田奈穂子 防衛医科大学校

杉下由行 東京都健康安全研究センター疫学情報担当課

## 目 次

3 ページ 総括研究報告書

CBRNE 事態における公衆衛生対応に関する研究

研究代表者 金谷泰宏 国立保健医療科学院健康危機管理研究部

8 ページ 分担研究報告書

大都市圏保健医療モデルの構築

研究分担者

市川 学 東京工業大学大学院総合理工学研究科

10 ページ 分担研究報告書

放射性物質テロにおける外部被ばく線量検査法に関する研究

研究分担者

数藤由美子 独立行政法人放射線医学総合研究所生物線量評価研究チーム

13 ページ 分担研究報告書

放射性物質テロの脅威評価に関する研究

研究分担者

山口一郎 国立保健医療科学院生活環境研究部

25 ページ 分担研究報告書

東京都感染症発生動向調査を用いたサーベイランス解析と視覚化の検討

研究分担者

高橋邦彦 名古屋大学大学院医学系研究科准教授

灘岡陽子 東京都健康安全研究センター健康危機管理情報課長

研究協力者

杉下由行 東京都健康安全研究センター疫学情報担当課長

31 ページ 分担研究報告書

CBRNE テロ対策に関する保健医療ネットワークの構築（近畿圏）に関する研究

研究分担者

高橋 和郎 大阪府立公衆衛生研究所

33 ページ 研究成果の刊行に関する一覧表

## CBRNE 事態における公衆衛生対応に関する研究

研究代表者 金谷泰宏 国立保健医療科学院 健康危機管理研究部

### 研究要旨

わが国における CBRNE 事態への対応は「NBC テロその他大量殺傷テロへの対処について（平成 13 年 4 月 16 日、内閣危機管理監決裁 NBC テロ対策会議）」に沿って、国の対応が示めされているが、CBRNE 事案が発生した際の、原因物質の把握、被災者の除染、搬送、治療という各過程における国と地方自治体との具体的な連携のあり方まで触れられていない。本研究は、CBRNE 事態の発生に備えて、その公衆衛生対策を科学的に評価できるシミュレーションモデルの構築を行うとともに、健康危機事案の早期探知ならびに被災者・第一対応者の健康被害のアセスメント手法の開発を行う。

### （分担研究者）

石峯康浩 国立保健医療科学院  
健康危機管理研究部  
山口一郎 国立保健医療科学院  
生活環境研究部  
数藤由美子 放射線医学総合研究所  
生物線量評価研究チーム  
齋藤大蔵 防衛医科大学校  
防衛医学研究センター外傷研究部門  
市川 学 東京工業大学大学院総合理工学研究科  
高橋邦彦 名古屋大学大学院医学系研究科  
高橋和郎 大阪府立公衆衛生研究所  
灘岡陽子 東京都健康安全研究センター  
健康危機管理情報課

### A. 研究目的

わが国における CBRNE 事態への対応については「NBC テロその他大量殺傷テロへの対処について（平成 13 年 4 月 16 日、内閣危機管理監決裁 NBC テロ対策会議）」に沿って、国が対応を行うこととされている。一方、国と都道府県との連携については「NBC テロ対処現地関係機関連携モデル」に沿って実施されることとされているが、本モデ

ルは、あくまでも関係機関間の連携のあり方を示したものであり、CBRNE 事案が発生した際の、原因物質の把握、被災者の除染、搬送、治療という各過程における関係機関の具体的な対応まで触れられていない。このため、CBRNE 事態への対応は、自治体間で必ずしも統一されているわけではない。我々は、平成 21 年度より、厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）バイオテロ以外の CBRNE テロ対策に対する効果的な対策の検証と国際連携ネットワークの活用に関する研究の中で、欧米における CBRNE 事態への医療・公衆衛生部門の対応について情報収集を行ってきたところである。この中で、米国職業安全健康局（OSHA）が、2005 年に発表した「危険物による集団災害被災者の病院における初期医療対応者のための最善の取り組み」の中で、被災者及び初期対応者に対する除染、防護について、シミュレーションモデルを踏まえて最適な搬送手順を示すとともに、医療機関が備えるべき装備について示している。そこで、本研究において、特に、CBRNE テロの標的となりやすい大都市（東京都、大阪府）における医療サービスの流れを Agent Based Modeling（ABM）を用いてモデル化

を行い、過去の地下鉄サリン事件（東京）、新型インフルエンザの流行（大阪）を基に事案発生時の保健医療行政の行動、被災者の行動をモデル上で再現させることで、保健医療対策の脆弱性を明らかにするものである。加えて、放射性物質を用いた事案では、被害の拡散と対策の遅れが伴うことから、諸外国における事故処理対策を踏まえ、保健医療行政及び医療機関を交えた図上演習等を行うことで、現行の連携モデルの課題を明らかにし、さらなる強靱な地域の健康危機管理体制を構築するための方向性を示すものである。

## B. 研究方法

### (1) 生物テロの早期探知手法の検討

東京都感染症発生動向調査に基づくインフルエンザ定点報告数を用いて、保健所管轄を単位とした集積性の検定によるサーベイランス解析を行った。本解析では、各地域のベースライン値は直近3週間の報告数の平均値とし、統計量として制限付尤度を用いて解析を行い、その有意性の基準とする有意水準は0.20 (=1/50 週)を用いた。解析期間は、2006～2007年シーズン及び2008～2009年シーズンの2つの期間を対象とした。特に2008～2009年シーズンでは、パンデミックインフルエンザ発生時期を含む18週（2009年4月27日～5月3日）の時期からの解析を行った。

### (2) 化学テロ医療需要予測モデルの構築

都市近郊の二次医療圏にモデルを適用し、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境界設定として、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、全ての診療科を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P1、救急車利用率P2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。基本設定で使用する各パラメータとしては、公表されている統計情報を引用した。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。各医療機関の救急医療体制については公表データを使用した。シミュレーション中で行う距離計算に関しては、ノード間の直線距離を移動速度で除算した値を使用することとした。

### (3) 放射性物質テロにおける外部被ばく線量検査法に関する研究

被ばく線量と生成された染色体構造異常の頻度との間に一定の線量効果関係があることを利用して、線量の推定が可能である（生物線量評価）。従来、最も正確で信頼できる生物学的線量評価法として、末梢血リンパ球を用いた二動原体染色体(DC)分析法が用いられてきた。この方法では細胞分裂M期染色体像を利用するため、48時間の細胞培養を行う。したがって検体受け入れ後、トリアージのための大まかな線量推定までに50時間以上を要する。一方、G0期のDNA二本鎖切断は、有糸分裂にあるChinese hamster ovary細胞等との細胞融合で引き起こされる未成熟染色体凝縮(PCC)法で検出できることが知られている。細胞培養は不要で迅速診断への有用性が期待されるが、従来のギムザ染色法では染色体断片の判定が困難で、被ばく事故の検査でほとんど利用されていない。本研究初年度は、①従来の二動原体染色体分析法(DC法)による線量評価の実効性を検討した。②PCC法の迅速性に着目し、動原体領域の配列を用いたペプチド核酸(PNA)をプローブとした蛍光in situハイブリダイゼーション(FISH)法を併用した二動原体染色体検出(PCDC法)を試みた。

### (4) CBRNEテロシナリオの検討

CBRNE事象発生後の公衆衛生対策を検証するに

あたり、政府の対応については、「NBC テロその他大量殺傷テロへの対処について（平成 13 年 4 月 16 日、内閣危機管理監決裁 NBC テロ対策会議）」を参考とした。国と都道府県との連携については「NBC テロ対処現地関係機関連携モデル」に従い関係機関の対応の流れを整理する。

#### （倫理面への配慮）

放射線医学総合研究所研究倫理審査委員会の承認を得、インフォームドコンセントが得られたボランティアの血液試料およびデータを用いた。

### C. 研究結果

#### （1）生物テロの早期探知に向けた検討

東京都で報告された 2007 年 1 週～2012 年 30 週のインフルエンザの定点あたり報告数を地理情報システム上に展開した（ここでの定点数は各週の報告があった定点数ではなく、登録された全定点数を用いた）。2006～2007 年シーズンのサーベイランス解析では、2006 年は報告数が少なく、有意な集積は認められなかったが、2007 年 3 週より有意な集積が確認された（地図において色が塗られた地域は検出された有意な集積地域であり、その中での報告数とベースラインとなる期待頻度に対する相対危険度を示した）。本検討では、各地域のベースライン値を直近 3 週間の報告の平均としたことから、ここで検出される集積は単純な発生数の集積ではなく、直近 3 週より急激な増加がみられる地域として検出される。流行の始まりは大田区であったが、2007 年 4 週及び 7 週における都西部地域での集積が認められた翌週に都全体の報告数がそれまでよりも急激に増加している様子が観察された。その後 18 週には集積地域が検出されたが、19 週以降はそれ以外の集積が検出されなかったことから、この段階でほぼ流行が収束してきていると考えられた。2008～2009 年についても同様の解析を行った。このシーズンでは多摩小平・多摩府中での集積が 2008 年 46 週に観察され、その後継続的に集積地域が検出された。

ここでは 5 週までの地図のみを示しているが、実際には定点あたり件数のグラフでも観察できるとおり、11 週以降報告数は減少していったが、集積性の検定による解析では、その後もしばらく継続的に集積地域が検出されていた。この年はパンデミックインフルエンザの流行があった時期であることから、18 週以降の集積についても地理情報システム上に展開した。18 週、19 週、20 週に都心部で集積が認められたものの、21～25 週は集積が検出されず、26 週に小さな集積が認められたもののその後 30 週までは有意な集積は検出されなかった。

#### （2）化学テロ医療需要予測モデルの構築

シミュレーションを実施した際の全搬送患者の平均搬送時間と圏外搬送率は、それぞれ 37 分、24%と実際の統計値である 35 分、22%に近い結果が得られた。年齢階層別にみると小児の搬送時間が全体の平均時間より長い傾向を示した。同様に傷病区分、傷病程度別では、全年齢階層で心疾患、神経系、消化器系、呼吸器系、精神系の中等症以上の搬送時間が全体の平均時間より長くなる傾向を呈した。これらの個別の平均搬送時間に関しては実測値がないため適正值かとうとうかの判断はできない。

#### （3）放射性物質テロにおける外部被ばく線量検査法に関する研究

福島第一原発事故における一次対応者 10 名について、緊急検査として実際に二動原体染色体分析（DC 法）による線量評価を行った。被験者 1 名につきトリアージ・レベルの線量評価に約 52 時間を要した。一方、PCC 法として、① 2 種類の PNA プローブ（動原体領域・Cy3 標識、赤色；テロメア・FAM 標識、緑色）を用いた FISH 法を開発することで、染色体断片と二動原体染色体を明確に検出することができた。特異性の高い PNA をプローブとして用いたことで、DNA プローブと比べ、ハイブリダイゼーション時間が短縮できた（17 時間から 0.5 時間に短縮）。さらに、②末梢血のリン

パルス分離 (0.5 時間)、細胞融合処理 (1 時間)、染色体標本作製～PNA-FISH (2.5 時間) を経て、採血から 4.5 時間後に顕微鏡画像解析が開始できた。また、③  $^{60}\text{Co}$  ガンマ線 in vitro 照射した末梢血 (0～4 Gy) について、PCDC 法と従来の二動原体染色体分析法で二動原体染色体異常の頻度を調べ、比較したところ、同様な線量効果関係が得られた。

#### (4) CBRNE 事態シナリオの検討

放射線テロに関しては、医療用線原 ( $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{67}\text{Ga}$ 、 $^{131}\text{I}$ ) を用いた都心ターミナル駅での散布、地方空港における航空機墜落に伴う飛散という 2 つのシナリオを作成した。

#### D. 考察

本研究は、CBRNE 事態が発生した際における公衆衛生面からの対応について検証を行うものであるが、化学、生物、放射線テロのそれぞれにおいて取るべき対策は大きく異なることから、研究として個別の特性に応じた課題の設定が求められる。このため、本研究において、化学テロについては、大量に発生する被災者をいかに適切かつ迅速に治療可能な医療機関に収容できるかを検証できるモデルの構築を行うこととした。また、生物テロに関しては、これまでの研究の多くが、SIR モデルに基づくシミュレーションの構築を行ってきたが、社会活動をコンピューター上に詳細に再現することは難しく、仮にモデルを構築できたとしても、天然痘、ペスト等の感染症については、モデルの正確性を検証するための近代都市におけるパラメータが不足している。そこで、生物テロ対策に関する社会医学研究の方向性として、感染拡大を予測する技術ではなく、地域の感染症患者の集積を早期に捉える技術の開発と実装が急務であると考えている。具体的には、感染症動向調査によって得られたデータを地理情報システム上に展開し、地域における患者集積を空間統計手法により発生早期で地域を捉えることが可

能かについて検証を行った。放射線テロ災害については、2011 年の福島第一原発事故に見られるように、被災者及び第一対応者が暴露した線量を迅速かつ正確に評価する必要がある。従来法の二動原体染色体分析法では、トリアージ・レベルの線量評価に、血液検体受け入れ後 50 時間以上を要するとされているが、ペプチド核酸プローブを用いた蛍光 in situ ハイブリダイゼーション (FISH) 法を併用した改良 PCC 法 (PCDC 法) の導入により、約 8 時間で二動原体分析ができることが示された。今後、被ばく後の経過時間と線量効果関係を調べることで、時間的適用範囲を明らかにしていく。

#### E 結語

CBRNE 事態への対応は、化学、生物、放射線のそれぞれの特性に応じて大きく異なる。本研究においては、これらの事案に総合的に対応するため、化学テロ災害に対しては、大量傷病者の収容に向けたシミュレーションモデルの構築を進め、生物テロに対しては、集積地域を早期に探知するための空間統計手法の検証をパンデミックの情報を用いて検証を行った。放射線テロ災害については、福島第一原子力発電所事故における第一対応者の被ばく量を線量計と生物線量評価を用いて検証を行うことで、迅速かつ正確な被ばく量評価のための検査態勢の構築の是非について引き続き検討を進めていく。

#### F. 健康危険情報

該当事項無し。

#### G. 研究発表 (2013/4/1～2014/3/1 発表)

##### 1. 論文、報告書、発表抄録等

- 1) 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. 2013 ; 62 (2) : 125-131.
- 2) 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. 2013 ; 52 (7) :

622-628.

3) 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. 2013;62(2):138-143.

4) Ishinishi M, Ichikawa M, Tanuma H, Deguchi H, Kanatani Y. The effects of vaccination strategies against smallpox bioterrorism with agent-based simulation. In: Murata T, Terano T, Takahashi S, editors. Agent-Based Approaches in Economic and Social Complex Systems VII: Post-Proceedings of The AESCS International Workshop 2012. Springer ; 2013. p131-145.

5) Suzuki M, Terada H, Unno N, Yamaguchi I, Kunugita N, Minakami H. Radioactive cesium ( $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$ ) content in human placenta after the Fukushima nuclear power plant accident. J. Obstet. Gynaecol. Res 2013; 39(9): p1406-1410.

6) 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 2013; 3:2.

7) 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. 2013; 25: p545-551.

8) 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(4): 366-373, 2013.

9) 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.

## 2. 学会発表

1) 江藤亜紀子, 齋藤智也, 横手公幸, 金谷泰宏. 天然痘ワクチン LC16m8 接種により誘導される抗体プロファイルと中和抗体価との関連についての解析. 第17回日本ワクチン学会学術集会; 2013年11月; 三重.

2) 高橋邦彦. データの有効な視覚化と統計解析. メインシンポジウム1「災害時や危機管理におけるビッグデータの形成とその利活用」. 第72回日本公衆衛生学会総会 2013年10月; 三重.

3) Kanatani Y. Prevention of chronic diseases after disaster: importance of nutrition. In: Proceedings and Abstracts 8th Asia Pacific Conference on Clinical Nutrition; 2013 June 9-12; Chiba, Japan: 2013. p. 48.

## H. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む。)

1. 特許取得  
該当事項無し。
2. 実用新案登録  
該当事項無し。
3. その他  
該当事項無し。



二次医療圏における救急搬送医療モデルの構築に関する研究

研究分担者 市川 学 東京工業大学

(研究要旨)

CBRNE テロの標的となりやすい大都市における医療サービスの流れを Agent Based Modeling (ABM) を用いてモデル化を行い、過去のテロ事案発生時の保健医療行政の行動、被災者の行動をモデル上で再現させることで、保健医療対策の脆弱性を明らかにするものである。本研究では、都市近郊の二次医療圏にモデルを適用し、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境界設定として、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。シミュレーションを実施した際の全搬送患者の平均搬送時間と圏外搬送率は、それぞれ 37 分、24%と実際の統計値である 35 分、22%に近い結果が得られる等、モデルとして実測値との乖離がないことが示された。

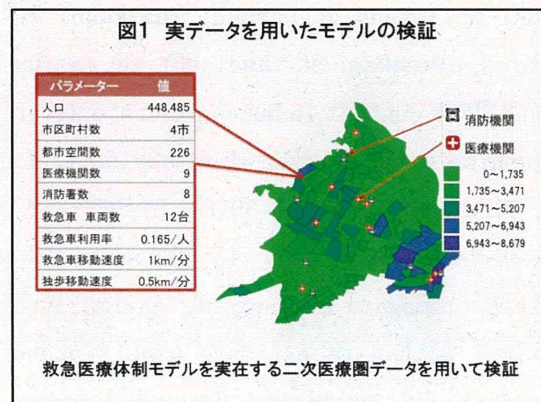
A. 研究目的

CBRNE 事態における災害現場において患者を救急搬送する際に、受け入れる救急医療機関およびその搬送方法を、あらかじめ予測しておくことは必要不可欠である。本研究では、社会シミュレーションの技術を用いて、CBRNE 事態における救急搬送をあらかじめ予測・分析が可能なモデルを構築する。

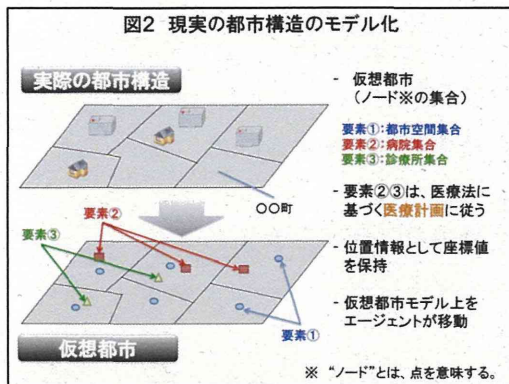
B. 研究方法

都市近郊の二次医療圏にモデルを適用し、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境界設定として、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、全ての診療科を 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

図1 実データを用いたモデルの検証



症 10 分、中等症 30 分、重症 60 分とした。また、発症確率 P1、救急車利用率 P2 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。基本設定で使用する各パラメータとしては、公表されている統計情報を引用した（図1）。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。各医療機関の救急医療体制については公表データを使用した。シミュレーション中で行う距離計算に関しては、ノード間の直線距離を移動速度で除算した値を使用することとした（図2）。



(倫理面への配慮) 該当なし。

### C. 研究結果

シミュレーションを実施した際の全搬送患者の平均搬送時間と圏外搬送率は、それぞれ 37 分、24%と実際の統計値である 35 分、22%に近い結果が得られた (表 1)。

表 1 実測値とシミュレーション値の比較

	平均搬送時間 (分)	圏外搬送率 (%)
実測値	35	22
現状シナリオ	36	23

年齢階層別にみると小児の搬送時間が全体の平均時間より長い傾向を示した。同様に傷病区分、傷病程度別では、全年齢階層で心疾患、神経系、消化器系、呼吸器系、精神系の中等症以上の搬送時間が全体の平均時間より長くなる傾向を呈した (表 2)。これらの個別の平均搬送時間に関しては実測値がないため適正值かかどうかの判断はできない。

表 2 疾患別搬送時間

	循環器系	呼吸器系
成人	39	40
小児	39	47

### D 考察

シミュレーションモデルから計算された救急搬送時間と公開されている救急搬送時

間における誤差が小さいことから、本研究で構築した救急搬送モデルが、現実社会の状況を表現できている材料として捉えられる。また、救急患者の受け入れ医療機関を、うまく組み合わせることによって、救急患者をより早く医療機関へ搬送できる枠組みを設計できる可能性を、モデルが示していると考えられる。本研究では、現実の二次医療圏を対象として、救急患者を医療機関へ搬送するまでをシミュレーションできるモデルを構築した。構築したモデルからは、救急患者が医療機関へ搬送されるまでの時間を計算でき、また患者を受け入れる医療機関のシフトを組み替えることで、より搬送時間を短縮できる可能性があることを示した。今後は、CBRNE 事態に対応すべく、災害発生時の要素をモデルに取り込む予定である。

### F. 健康危険情報

なし

### G. 研究発表

#### 1. 論文発表

- 1) 市川学, 春日雄翔, 出口弘, 金谷泰宏.  
二次医療圏における夜間救急医療モデルの構築とその利用. システム制御情報学会論文誌, 2014 年 7 月号掲載予定 (採択済)

#### 2. 学会発表

なし

### H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む。)

1. 特許取得  
なし
2. 実用新案登録  
なし
3. その他  
なし

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）  
CBRNE事態における公衆衛生対応に関する研究  
平成25年度分担研究報告書

放射性物質テロにおける外部被ばく線量検査法に関する研究

研究分担者 数藤由美子  
独立行政法人放射線医学総合研究所生物線量評価研究チーム

研究要旨

【目的】

放射性物質を用いたテロにおける一次対応要員の健康被害を迅速に把握するため、染色体異常を指標とした線量評価法の有用性・適用範囲を検討する。

【方法】

患者振り分け(トリアージ)に適した線量評価法として、未成熟染色体凝縮(PCC)解析法を改良し、迅速な線量推定の可能性と有用性を評価した。

【結果および考察】

従来法の二動原体染色体分析法では、トリアージ・レベルの線量評価に、血液検体受け入れ後 50 時間以上を要する。ペプチド核酸プローブを用いた蛍光 in situ ハイブリダイゼーション(FISH)法を併用した改良 PCC 法(PCDC 法)により、約 8 時間で二動原体分析ができた。今後、被ばく後の経過時間と線量効果関係を調べ、時間的適用範囲を明らかにする。

【結論】

一次対応者や患者の被ばく線量評価では、被ばく後の早い段階でのおおよその線量推定が治療方針の決定に必要である。従来は 50 時間を要していた。本研究で、より迅速な線量評価の可能性が示唆された。

A. 目的

放射性物質を用いたテロ(N・R)では、初動対応者への健康被害が予想される。曝露量の迅速な把握のため、生物学的な線量評価法の現状把握と適用検討を行った。

B. 研究方法

被ばく線量と生成された染色体構造異常の頻度との間に一定の線量効果関係があることを利用して、線量の推定が可能である(生物線量評価)。従来、最も正確で信頼できる生物学的線量評価法として、末梢血リンパ球を用いた二動原体染色体(DC)分析法が用いられてきた。この方法では細胞分裂 M 期染色体像を利用するため、48 時間の細胞培養を行う。したがって検体受け入れ後、トリアージのための大まかな線量推

定までに 50 時間以上を要する。一方、G0 期の DNA 二本鎖切断は、有糸分裂にある Chinese hamster ovary 細胞等との細胞融合で引き起こされる未成熟染色体凝縮(PCC)法で検出できることが知られている。細胞培養は不要で迅速診断への有用性が期待されるが、従来のギムザ染色法では染色体断片の判定が困難で、被ばく事故の検査でほとんど利用されていない。

本研究初年度は、①従来の二動原体染色体分析法(DC 法)による線量評価の実効性を検討した。②PCC 法の迅速性に着目し、動原体領域の配列を用いたペプチド核酸(PNA)をプローブとした蛍光 in situ ハイブリダイゼーション(FISH)法を併用した二動原体染色体検出(PCDC 法)を試みた。

(倫理面への配慮)

放射線医学総合研究所研究倫理審査委員会の承認を得、インフォームドコンセントが得られたボランティアの血液試料およびデータを用いた。

## C. 研究結果

### 1) DC 法

福島第一原発事故における一次対応者 10 名について、緊急検査として実際に二動原体染色体分析による線量評価を行った。被験者 1 名につきトリアージ・レベルの線量評価に約 52 時間を要した。【論文発表 1】

### 2) PCC 法

2-1) 2 種類の PNA プローブ (動原体領域・Cy3 標識、赤色; テロメア・FAM 標識、緑色) を用いた FISH 法を開発した。染色体断片と二動原体染色体が明確に検出できた。特異性の高い PNA をプローブとして用いたことで、DNA プローブと比べ、ハイブリダイゼーション時間が短縮できた (17 時間から 0.5 時間に短縮)。

2-2) 末梢血のリンパ球分離 (0.5 時間)、細胞融合処理 (1 時間)、染色体標本作製～PNA-FISH (2.5 時間) を経て、採血から 4.5 時間後に顕微鏡画像解析が開始できた。

【論文発表 2】

2-3)  $^{60}\text{Co}$  ガンマ線 in vitro 照射した末梢血 (0~4 Gy) について、PCDC 法と従来の二動原体染色体分析法【論文発表 1】で二動原体染色体異常の頻度を調べ、比較したところ、同様な線量効果関係が得られた【論文投稿中】。

## D. 考察

1) 現在、世界では二動原体染色体分析の

自動化 (顕微鏡システムの自動化、フローサイトメトリーによる検出法開発) が進められているが、いずれの方法でも細胞培養 48 時間というステップは排除できず、検体受け入れ後 2 日以上経ないとトリアージができない。本研究で、PNA-FISH 法を併用した PCDC 法の迅速性・高検出力性が示された。

2) 実際的な運用のためには、①被ばく後の時間経過 (DNA 修復) の影響=検査適用できる被ばく後の採血時間範囲、②被ばく者のトリアージに有効な検出細胞数、③分析の自動化による高速化が検討課題であると言える。

## E. 結論

一次対応者や患者の被ばく線量評価では、被ばく後の早い段階でのおおよその線量推定が治療方針の決定に必要である。従来の二動原体染色体分析法では 50 時間以上を要していた。本研究で、より迅速な線量評価法として PCC 法の有用性が示唆された。

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

1) Yumiko Suto, Momoki Hirai, Miho Akiyama, Gen Kobashi, Masanari Itokawa, Makoto Akashi, Nobuyuki Sugiura: Biodosimetry of restoration workers for Tokyo Electric Power Company (TEPCO) Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident. Health Physics 105: 366-373, 2013.

2) Yumiko Suto, Miho Akiyama, Takaya Gotoh, 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.

2. 学会発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況  
(予定を含む。)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）  
CBRNE事態における公衆衛生対応に関する研究  
平成24年度分担研究報告書

放射性物質テロの脅威評価に関する研究

研究分担者 山口一郎 国立保健医療科学院生活環境研究部

研究要旨

【目的】

放射性物質テロの脅威評価を試みる。

【方法】

これまでの事例を参考に、保健医療分野で机上訓練に用いることができる放射性物質テロの想定シナリオを作成し、その脅威を検討した。

【結果および考察】

医療機関に存在するカテゴリー1の線源を用いて、もっとも被害が大きいと考えられる想定シナリオを作成した。この脅威は現在使用されていない線源を回収することで低減することができると考えられる。

【結論】

医療機関に存在するカテゴリー1の線源を用いた放射物質テロは、社会活動にインパクトを与えうる。この脅威を軽減させるための手立てを講じる必要がある。

A. 目的

わが国における CBRNE 事態への対応については「NBC テロその他大量殺傷テロへの対処について（平成 13 年 4 月 16 日、内閣危機管理監決裁 NBC テロ対策会議）」に沿って、関係省庁が対応を行うことになる。ここで、国と都道府県との連携については「NBC テロ対処現地関係機関連携モデル」に沿って実施されることとされているが、本モデルは、あくまでも関係機関間の連携のあり方を示したものであり、医療機関のあるべき対応としての検討は従来よりなされ、様々な研修用資料が用意され、今般の原子力災害でも現場で広く参照されたものの、行政側の対応の課題が指摘されており<sup>2</sup>、CBRNE 事案が発生した際の、原因物質の把握、被災者の除染、搬送、治療という各過程における関係機関の具体的な対応まで触れられていない。

そこで、放射性物質を用いたテロ(N・R)

については、被災者を含め初動対応者、初期医療対応者への長期に及ぶ健康被害が予想されることから、曝露量の低減と長期管理に向けた対策の検討として、放射性物質を用いたテロのシナリオの作成及び保健医療対策の検証として、生物学的な線量評価法の実情把握に関する研究を行う。

B. 研究方法

放射性物質を用いたテロ対策の検討に資するために、過去の事例やこれまでの検討を踏まえて、放射性物質を用いたテロのシナリオを作成した。また、保健医療対策の検証として、生物学的な線量評価法の実情を把握するために、近年の研究の進展を踏まえた調査を行うとともに放射性物質を用いたテロ時の線量把握の課題を整理した。

(倫理面への配慮)

本研究に個人の人権に関わる事項は含まれない。

### C. 研究結果

保健医療関係者の健康危機管理事象への対応能力の維持・向上を図ることを目的とし、放射性物質が用いられたテロ災害を想定した机上訓練モデル作成を目指した事象シナリオを作成した。

原子力施設立地自治体では放射線事故への対応の仕組みが整備されていることから、この訓練モデルは、原子力施設非立地自治体の保健医療関係者のトレーニングに資することを目的とする。ただし、原子力施設立地自治体にも役立つものを目指した。

本事象シナリオの特徴は、実例に基づき、日常的にありそうなエピソードをシナリオに織り込み、臨場感を持たせた。これは、これまでの緊急被ばく医療での訓練シナリオが、現実感が乏しい（あるいは、想定するパターンを限定していた）ものと受け止められ、訓練の成果を十分に得ることの妨げになっていたとも考えられることの反省に立っている。つまり、トレーニングの不十分さが、東京電力福島原発事故での医療機関でのWBC (whole body counter) の準備状況、GMサーベイメータによるスクリーニング基準の意義の理解、放射線の線量の相場観の醸成の欠如につながっていたとの反省に基づいている。また、東電福島原発事故後の対応を踏まえ、リスク・コミュニケーションにも重点を置き、リスク社会(Ulrich Beck)における公衆衛生活動のあり方を模索するものとする。将来的には、

研修参加者からフィードバック頂くことで、社会シミュレーションを活用したオペレーションのあり方研究にも役立てられるような知見を得ることも目指す一方で、放射線の基礎的な知識の獲得も目指しており、これらが特徴と考えられる。

主なシナリオは二つ用意した。一つは、爆発で事象が察知されるもの。もう一つは、航空機事故（類似シナリオとして過去の厚労科研で開発された自動車事故シナリオを活用）である。

作成したシナリオを本報告書の別冊として示す。

### D. 考察

#### D.1 脅威の想定

ダーティ爆弾はこれまで使われたことがないが、50.9TBqのセシウム137によるブラジルのゴイアニア市の事故では49名の住民が490mSv以上の線量を受け、4名が死亡し、ゴイアニア市民11.2万人が内部被ばくの検査をし、除染土はドラム缶12,500本となり、事故後20年たっても心理的ストレスによる健康障害が観察されている<sup>3</sup>。最大200TBq程度の輸血用照射線源をダーティ爆弾として用いられた場合には、周囲に容易に近づけなくなる、一定の範囲の除染が必要になりうることから、用いられる場所によっては相当の社会的な影響を与えると考えられる。

#### D.2 放射性物質が用いられたテロ災害の

<sup>1</sup>平成14・15年度厚生労働科学研究費補助金がん予防等健康科学総合研究事業「地域における放射能事故発生時の対応に関する研究」総括研究報告書（主任研究者 鈴木元）<http://h-crisis.niph.go.jp/node/20049>

脅威を減らすための取り組み

放射線源のセキュリティ対策に関しては、IAEA（国際原子力機関）の放射線源の安全とセキュリティに関する行動規範（2004年）、放射線源のカテゴリー分類（2005年）、放射線源の輸出入に関するガイダンス（2004年制定、2011年制定）、放射性物質の危険な量（D値）や核によるテロリズムの行為の防止に関する条約（2005年）を国内でも担保するために、外国為替令及び輸出入貿易管理令が改正され、平成18年1月1日から施行され、線源の輸出入に関してセキュリティも考慮したルールが運営されている。その後、IAEAの放射線源の安全とセキュリティに関する行動規範に基づく実施指針である、NSS No.11放射線源のセキュリティを担保するために、試行も踏まえ平成23年1月1日より線源登録制度が正式に運営されている。NSS No.11は改訂作業中であり、2014年度中のドラフト版が示される予定であり、今後、わが国でも放射線源を用いたテロに対する脅威評価などを実施する必要があることから、現在、原子力規制庁で検討が進められている。脅威となる線源が医療機関にも存在すること、また、放射線源を用いたテロへの対策の検討があることから、保健医療分野でもこれらの動きを注視していく必要があると考えられる。

これまでのところは、原子力委員会原子力防護専門部会で医療分野の対応に関して議論があった<sup>4</sup>。

なお、テロを考慮した規制整備では、2001年に発生した炭疽菌テロ事件をきっかけに2004年にWHOでバイオセキュリティを加味した「実験室バイオセーフティ指針」が策定されるなど国際的な協調の基で同様の

構造で進められてきた生物テロ対策が国内でも先行していることから、この取り組みが放射線源を用いたテロへの対策にも参考になると考えられている。

その後、IAEAでは、管理外となった線源がテロリストなどに渡らないような方策を NST011 Preventive Measures for Nuclear and Other Radioactive Material out of Regulatory Control で提示し、NST024 Security Management and Security Plans for Radioactive Material and Associated Facilities が RASSC33/WASSC34 で承認されている。

従来より、医療機関にある比較的数量が大きな線源で使われなくなった後が課題であることが指摘されている<sup>2</sup>。そこでの議論では、使われなくなった輸血用血液照射装置の線源は、医療機関から日本アイソトープ協会に引き取られることが想定されているが、そもそも、使用済み線源を日本アイソトープ協会が引き取ることは制度設計上想定されておらず、医療機関が保管するか、線源製造元に引き取りを依頼するしかない状況である。また、海外の線源製造元への引き取りを依頼するには、輸送途上に船が寄港する国の了承を得ることが必要であるが、この手続きが容易ではなく費用の負担と相まって個別の医療機関では対応が困難になっていると思われる。この状況は、今後、事例化する可能性がある放射化したサイクロトロン建屋の解体問題とも共通する。いずれにしても、この脅威を減らすには医療機関にある使われのない線源をより管理が

2

<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/senmon/bougo/siryo/bougo04/siryo4-4.pdf>



嚴重な施設に移すことが必要であり、そのための環境整備が求められる。

### D.3 健康危機管理からの放射性物質が用いられたテロ災害への対応の現状

健康危機管理の側面からは、平成13年に定められた「厚生労働省健康危機管理基本指針」で、地方公共団体が健康危機管理を適切に実施するための具体的な対応についての手引書を整備すべきであり、地域保健の専門的、技術的かつ広域的拠点である保健所は、地域における健康危機管理においても、中核的役割を果たすべきである旨が定められていることから、地域における健康危機管理について一地域健康危機管理ガイドラインが平成13年3月に厚生労働省により策定されている。このガイドラインは、地方公共団体が、健康危機管理において保健所の果たすべき役割について記載した「地域における健康危機管理のための手引書」を作成する際に参考となるように、保健所が各種の健康危機管理を行う際に共通して果たすべき事項等をまとめたものである。この際に、食中毒、感染症等の個別の健康危機管理については、それぞれの詳細なマニュアル等がまとめ個別の対策に当たっては、これらに基づいて行われることとなる。放射線に関しては、食品安全を確保するために、平成12年度の厚生科学特別研究で原子力施設の事故等緊急時における測定と安全性評価に関する研究が実施され、平成14年5月に「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」が発出され、この度の原子力災害でも活用され、事前の準備の重要性が改めて再認識された。た。しかしながら、RN テロに対する備えのあ

り方は課題となっているままである。

原子力災害に関しては、核施設における災害を想定した原子力防災体制が整備されており、毎年核施設のある道府県では、国ないし道府県が主催する原子力防災訓練が実施されているが、想定を超えた事態への対応の観点からは、この度の原子力災害で課題が浮き彫りとなってしまった。一方、米国で発生した9.11同時多発テロ等をうけ、我が国でも平成16年6月に「武力攻撃事態等における国民の保護のための措置に関する法律」（所謂、国民保護法）が成立し、これに基づく核施設を舞台にした訓練も並行して行われるようになった。国民保護法は原子力防災の枠を越える事態も想定しており、例えば放射性物質を使ったテロ、ダーティ爆弾やその他の手段での放射性物質散布テロに対する訓練が行われはじめ、平成20年11月に東京でダーティ爆弾を想定した図上訓練と実働訓練が実施され<sup>5</sup>、平成21年2月には神奈川（横浜）でダーティ爆弾を想定した図上訓練が実施されている。放射性物質がからむ災害のうち、テロを原因とするものでは、同量の放射性物質が環境中に放出された場合でも、より社会に深刻な影響を与えることが懸念されている。このことから、国民保護法訓練は、一般の災害訓練や原子力防災訓練の延長上で計画するだけでは不十分であり、まずは、この認識を関係者間で共通の問題意識を醸成することが必要だと考えられる。

### D.4 物理学的線量評価としての EPR dosimetry

歯を抜去せず口腔内に保持したままで電子スピン共鳴法によりラジカルを計測し線

量を推計する方法の開発が進められており、L band EPR により 5 分程度の計測で 2Gy の曝露を見逃さないレベルにまで到達しつつあり、実用化を目指し米国 FDA で承認を得るための作業が開始されている。

一方、破壊的な方法では、試料量を小さくする方向での研究が進められており Q band EPR により 5mg の試料で約 0.4Gy、10mg の試料で約 0.2Gy の曝露を見逃さないレベルに到達している<sup>6</sup>。

#### E. 結論

医療機関に存在するカテゴリー 1 の線源を用いた放射物質テロは、社会活動にインパクトを与えうる。この脅威を軽減させるための手立てを講じる必要がある。

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

なし

##### 2. 学会発表

1) Ichiro Yamaguchi, Hitoshi Sato, Hiroshi Yoshii, Tsuyoshi Hamano. Preliminary trial of neuron dosimetry of extracted tooth using L band EPR. 41st Annual ISOTT Meeting & EPR 2013, 2013.6.22-28: Hanover, NH, USA.

2) Michitaka Umakoshi, Minoru Miyake, Ichiro Yamaguchi, Hiroshi Hirata, Naoki Kunugita, Yoshiro Matsui, Benjamin Williams, Harold Swartz.

Radiation induced signal dependence on measurement position and enamel thickness for human incisor teeth. 41st Annual ISOTT Meeting & EPR 2013, 2013.6.22-28: Hanover, NH, USA.

3) Minoru Miyake, Ichiro Yamaguchi, Michitaka Umakoshi, Hiroshi Hirata, Naoki Kunugita, Yoshiro Matsui, Benjamin Williams and Harold Swartz. In-vivo radiation dosimetry using L band EPR - The measurement from volunteers in FUKUSHIMA Prefecture, Japan - . 41st Annual ISOTT Meeting & EPR 2013, 2013.6.22-28: Hanover, NH, USA.

#### H. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む。)

##### 1. 特許取得

なし

##### 2. 実用新案登録

なし

##### 3. その他

なし

## 放射性物質が用いられたテロ災害を想定した机上訓練モデル・シナリオ

### 何処まで想像すればよいのか？

「何処まで想像すれば、危機管理対策として十分なのか」は、原子力の世界でも常に問い返さなくてはならない問題である。恐らく、ステークホルダーの合意点を探りながら対策を考えるのであろう。」（鈴木元）放射線事故医療研究会会報（平成20年9月6日発行）

#### シナリオ1

##### 【察知前】

A病院で188TBqのCs-137線源が盗まれた。

線源は輸血用血液照射用に備えられていたものであるが、日赤が照射済み血液を供給することになり、日常診療では、使われなくなっていた<sup>3</sup>。

線源はキャスター付きの自己遮蔽装置に格納されて輸血部の倉庫の隅に置かれていた<sup>4</sup>。

点検に来たと称する作業着を着た2人組により持ち去られたが、輸血部スタッフは線源の潜在的危険性を理解していなかったの、持ち去れたことに気付いていなかった。

（他の類似シナリオ）

<sup>3</sup> 比較的数量が大きな線源で使われなくなった後が課題であるとの議論が従来よりなされている。線源を持ったまま休診する医療機関はわが国でも存在している。

<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/senmon/bougo/siryo/bougo04/siryo4-4.pdf>

<sup>4</sup>

<http://www.nsr.go.jp/archive/nc/siryo/bougo09/siryo9-7.pdf>

治療線源である50GBqのCo-60が盗まれた。

経営上の問題から医療機関は診療を中止し、スタッフが滞在することもなかったが、管理状況報告書は規制庁に提出されていた。線源はキャスター付きの自己遮蔽装置に格納されて室内に置かれていた。

無人の病院内に置かれていた線源が夜間盗まれたが、盗まれたことに気付かれていなかった。

なお、診療に使われなくなった医療機関のCo-60が放射性廃棄物を扱う施設に運ぶ途中に盗難される事例が、2013年12月にメキシコで発生している。<sup>5</sup>

##### 【察知】

休日の昼間に新宿駅で爆発事件発生。

188TBqのCs-137線源を収納した血液照射装置が爆薬で破壊された。

Cs-137が周囲に飛散。

比較的大きな数量の放射性物質を含む大きな塊は狭い範囲にとどまった。

細かく砕けた塩化セシウムはばらばらにな

<sup>5</sup>

<http://www.iaea.org/newscenter/news/2013/mexicoradsources.html>

り、西からの 5m の風に乗って東側に移動していった。

爆発により数十人が負傷。

救急隊と警察が現場に到着して、対応が開始された。

#### 【線量】

- 外部被ばく  
1 m の距離に 50TBq の線源から距離 1m の距離に 1 日滞在すると 100Sv 程度被ばくすることになる。
- 内部被ばく  
吸い込む放射性物質の量による。
- 体表面汚染  
1Bq/cm<sup>2</sup> の時、皮膚の吸収線量率は 1.4 μ Gy/h。10 時間の汚染継続で 14 μ Gy なので、皮膚の 1cm<sup>2</sup> の大きさに 300kBq 付着すると 10 時間で 4Gy に達する (50TBq を 300kBq ずつ均等にわけると日本の総人口をカバーする)。

#### 【住民対応】

- ・ 新宿から東側の都民からの対応を求められることになった。
- ・ 放射線リスクに関する様々な言説が流布し、人々の不安が増幅された。
- ・ 放射線リスクに関する考え方の違いが様々な感情的な対立を招いたために放射線に関して率直に意見交換することが困難になった。
- ・ 汚染除去物の保管場所を確保することが必要になった。また、それらの運搬の

安全性確保が求められることになった。

- ・ 除染の範囲を巡って紛争化し、その対応が必要となった。

#### 【医療機関対応】

- ・ 放射性物質に患者が汚染していることから近隣の医療機関は患者を受け入れられないとした。

#### 【線源の特徴】

輸血養鶏液照射装置は、国内に 120 箇所程の施設が保有している。

使われなくなりつつあるが、線源廃棄がままならない。

線源は Cs-137: 10 TBq~100TBq

むき出しの状態になると容易には近づけない。

化学形は塩化セシウムでそれにレジンが混ぜられている。

密封性が破られると粉末が散らばり周囲を容易に汚染する。

#### 【海外の訓練例での参加者フィードバック】

CBRNE テロなどを想定した犠牲者除染訓練を行い、参加者からのフィードバックを収集し、コミュニケーション戦略の重要性を指摘している<sup>7</sup>。