

# 福島復興支援研究カンファレンス

平成 27 年 3 月 11 日 (水)

リーガロイヤルホテル小倉

4 階 エメラルド

1. 東電福島第一原発緊急作業従事者に対する疫学的研究カンファレンス  
産業医科大学 産業生態科学研究所 放射線健康医学研究室
2. 北九州市学術研究振興事業大学連携促進事業  
「復興に向けて目指すこと・学んだこと～復興への総合戦略～」  
産業医科大学  
早稲田大学大学院 情報生産システム研究科



# 東電福島第一原発緊急作業従事者に対する疫学的研究カンファレンス

## ご挨拶

当研究室は、福島原子力発電所（原発）事故に伴う廃炉作業やその周辺の除染等の作業における放射線業務従事者等に対する総合的な労働衛生対策を行うことを目的に創設されました。特に作業管理、作業環境管理、健康管理及び労働者教育等の適切な実施が重要であり、さらにヒト並びにマウスを対象とした放射線被曝影響の研究を推進していくことが課題です。

平成 26 年度労災疾病臨床研究事業費補助金研究助成として、「東電福島第一原発緊急作業従事者に対する疫学的研究」が始まりました。原爆被爆者の線量推定は、距離や遮へい等から非常に詳しく解析されたとはいえ、住民が線量を持参していた訳ではありません。今回福島原発緊急作業者は線量計を携帯しており、更なる線量推定は必要ですが、原爆被爆者よりも線量は明確です。低線量被ばくをヒトで研究していくことは、人類にとっても重要な研究課題であります。一研究班として分担させて頂くことは、当教室の設立目的を果たせます。非常に光栄なことであるとともに、きちんとした形で結果を出していかなければならないという重責を感じております。

この福島原発作業者を対象とした研究は、日本の放射線を専門とする代表する機関で行われることもあり、それぞれがどのような研究を行っていくのかを議論していく場が重要であると考えております。また当教室が担う低線量被曝の放射線生物影響をどのような解析を行うべきなのか、その課題の糸口がみつければと考えています。今回、この疫学研究班のそれぞれの代表の先生にお集り頂き、これまでのご研究とこの研究班における研究内容についてご講演頂き、この研究がより良い方向へ向かうきっかけとなれば幸甚です。

平成 27 年 3 月 11 日

産業医科大学 産業生態科学研究所 放射線健康医学  
教授 岡崎 龍史

## 北九州市学術研究振興事業大学連携促進事業

### 「復興に向けて目指すこと・学んだこと～復興への総合戦略～」

## ご挨拶

産業医科大学は産業医学・産業保健分野の発展に寄与する非常にユニークな大学として知られ、一方、早稲田大学大学院情報生産システム研究科は、国際色豊かで情報と生産技術の融合をめざす大学院として、2003年に北九州学術研究都市に開設されました。この両校が連携して、人・環境・生産性を科学するための医工連携事業を北九州市の助成を得て発足させてから、今年度が3年目となります。本事業初年度においては、産業医学と情報生産工学との接点を探るべく、産業医を取り巻く現場の実態と、total productive maintenanceによるものづくり改革の事例について合同ゼミを開催しました。また、2年目となる昨年度は、職場、地域における危機管理に焦点を当て、とくに災害や放射線事故に対する取り組みをテーマとした合同ゼミに多くの聴衆を集めました。その成果として、災害時のリアルタイムな状況把握、平常時からの災害時を想定した人的あるいは情報通信工学を駆使したシステム運用の必要性が浮き彫りにされました。あの忘れることのできない、2011年3月11日に起きた大災害とそれに伴う原発事故に目をそむけることなく、そのダメージから立ち直るために為されている現場での必死の努力を知り、今後何をしていかなければならないかを医工それぞれの視点からとらえることの重要性が再認識された瞬間でもありました。そこで今年度は、昨年度に引き続き同一テーマについてより議論を深めるため、「復興に向けて目指すこと・学んだこと」と題して、医工それぞれの立場から講演をお願いし、議論することになりました。本日お集まりの皆様にとって、有意義な意見交換・情報共有の場となりましたら幸いです。

平成 27 年 3 月 11 日

早稲田大学大学院 情報生産システム研究科  
教授 吉江 修

13:00 ～ 16:00

東電福島第一原発緊急作業従事者に対する疫学的研究カンファレンス

13:00 - 13:05 挨拶 岡崎 龍史

司会 岡崎 龍史

13:05-13:45 講演1

『原爆放射線の健康への長期的な影響』

放射線影響研究所 疫学部部長 小笹 晃太郎

13:45-14:25 講演2

『原爆被爆者の生物試料を用いた放射線生物学研究

—免疫学的解析と分子腫瘍学研究—』

放射線影響研究所 放射線生物学/分子疫学部部長 楠 洋一郎

14:25-14:35 休憩

14:35-15:15 講演3

『染色体分析による生物学的線量評価

～東電福島第一原発緊急作業従事者調査の経過報告と今後の展開～』

放射線医学総合研究所 緊被ばく線量評価研究プログラム

生物線量評価研究チーム チームリーダー 数藤 由美子

15:15-15:55 講演4

『東電福島第一原発緊急作業従事者に対する疫学的研究における  
線量評価と健康影響』

放射線医学総合研究所 理事 明石 真言

15:55- 閉会

16:00 - 19:00

北九州市学術研究振興事業大学連携促進事業

「復興に向けて目指すこと・学んだこと～復興への総合戦略～」

16:00 - 16:10 挨拶 佐多 竹良（産業医大副学長・病院長）

司会 吉江 修

16:10-16:50 講演1

『被災県の医療従事者として』

公益財団法人星総合病院 理事長

福島県医師会 常任理事 星 北斗

16:50-17:30 講演2

『大学における大震災とその後 ～教訓と課題～』

東北大学大学院 医学系研究科産業医学分野 教授 黒澤 一

17:30-17:40 休憩

17:40-18:20 講演3

『作業環境測定士の立場で東北震災に学んだこと、現在の取り組み』

九州工業大 安全衛生推進室 准教授 中村 修

18:20-19:00 講演4

『低価格で短時間測定が可能な放射能分析装置の開発』

三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 主任研究員 西沢 博志

19:00- 閉会

19:30- 意見交換会

## 東電福島第一原発緊急作業従事者に対する疫学的研究カンファレンス

13:05-13:45 講演 1

### 原爆放射線の健康への長期的な影響

放射線影響研究所 疫学部部長 小笹 晃太郎

原爆放射線の健康に対する長期的な影響は、被爆者本人、胎内被爆者、および放射線被ばく後に受胎した被爆者の子ども（被爆二世）のコホートに基づく疫学研究により評価されてきた。被爆者本人については、1950年の国勢調査時の生存者をもとに約12万人のコホートとして、死亡と死因、がん罹患を追跡している。胎内被爆者は約3,600人、被爆者の子どもは約77,000人を同様に追跡している。被ばく放射線量は、被爆時の状況を面接によって聞き取り、爆心地からの距離や放射線遮蔽の状況などにに基づき、体内の臓器ごとの被ばく線量を推定した。長期の健康影響を評価するためには、中性子線量を10倍してガンマ線量に加えた重み付け吸収線量（等価線量と同値）を用いている。

被爆者本人において、白血病のリスクは被爆後早期に顕著に増加し、特に若年者で著しかった。固形がんの放射線によるリスク増加は被爆後約10年以後から顕在化して今日まで持続している。固形がん全体として、放射線被ばくしていない人に対する相対的な増加の割合（過剰相対リスク）が放射線被ばく量に直線的に比例して増加している。結腸線量1 Gyの全身被ばくにより、固形がん全体として約40～50%増加している。がんの部位により放射線によるリスクは異なる。被爆時年齢が若いほど相対的なリスクが大きい。がん以外の疾患では、高線量被ばく者では循環器疾患等のリスク増加もみられる。低線量域での正確な放射線リスクの推定が課題であるが、非被ばく時の疾病リスクの推定、線量推定の不確実性、喫煙等の他のリスク因子との交絡や相互作用、強いリスク因子の非差別的分布、残留放射線や医療放射線被ばく等の問題に影響されうる。

胎内被爆者では臓器形成の放射線感受性の高い時期の被ばくに対応して小頭症等の異常が発生し、出生後のがんのリスクも増加している。被爆者の子どもでは親の放射線被ばくによる遺伝的影響やがん罹患リスクの増加などの健康影響はこれまでのところみられていない。

13:45-14:25 講演 2

原爆被爆者の生物試料を用いた放射線生物学研究  
—免疫学的解析と分子腫瘍学研究—

放射線影響研究所 放射線生物学/分子疫学部部长 楠 洋一郎

はじめに

原爆放射線が人体にどのような生物学的影響を与えるのか、またこれらの影響が、がんだけではなくがん以外の疾患を含む多くの異なる病気の発生に関係するかについては明確な解答が得られていない。私たちの研究室では、1)放射線の免疫システムへの影響とその疾患発生との関連性、および2)放射線発がんに関わる可能性のある分子変化について、原爆被爆者から供与された血液やがん組織標本などの生物試料を用いた検討を行っている。

原爆放射線が免疫系に及ぼす長期的影響

原爆被爆者の免疫システムは、70年前、主として放射線による細胞死のため、被ばく放射線量に応じて損なわれた。被爆者の造血系が放射線傷害から回復するにつれて免疫システムも再生されたが、依然として、免疫系細胞の構成ならびに機能への放射線被ばくの有意な影響が認められる。特に、高等動物の免疫を司るリンパ球のなかで中心的役割を果たしているT細胞集団の数や機能に、被ばく線量に関係した変化が観察されている。たとえば、被ばく線量の多い被爆者ほど、ナイーブT細胞の数が減少し、メモリーT細胞のなかで機能の弱い細胞の割合の増加と抗原認識受容体レパートリーの偏りがみられる。こうしたT細胞集団の構成上の変化とともに、試験管内での細胞増殖能やサイトカイン産生能といったT細胞機能の低下が被ばく線量依存性に検出されている。このようなT細胞免疫の衰えは一般的な老化において生じる変化であり、放射線に被ばくしたヒトでは免疫システムの老化による衰えがより進んでいる可能性がある。

一般的な老化により、T細胞免疫は衰えるが、非リンパ系細胞が関わる炎症反応は逆に高まる傾向がある。実際、IL-6、TNF- $\alpha$ 、CRPのような炎症性タンパクの血液中のレベルはヒトの高齢化に伴って上昇し、被ばく線量の高い被爆者ほど高値を示していた。興味深いことに、IL-6 および CRP レベルは、ナイーブ T 細胞の比率が低い被爆者で有意に高かった。つまり、加齢や放射線被ばくによる T 細胞免疫システムの衰えが、炎症反応が起こりやすい状態をもたらしているのかもしれない。これらのことから、原爆被爆者では、放射線による免疫システムの老化促進にともなって炎症応答が増強され、それにより炎症が関わる疾患発生のリスクが高くなる可能性があると考えられる。

原爆被爆者の分子腫瘍学研究

私たちの研究室では、放射線による発がんリスクが高いことが知られている甲状腺がん、肺がん、

大腸がんに関心を絞って分子腫瘍学研究を行っている。本カンファレンスでは、その中で福島原発事故との関連で関心が高く、また原爆被爆者での解析が最も進んでいる甲状腺がんについてその研究成果を紹介したい。

原爆被爆者の保存パラフィン包埋がん組織より抽出された DNA や RNA は、激しい分解や塩基の化学修飾のためにゲノムワイドな解析が困難である。したがって、既知の甲状腺がん関連遺伝子の変異から解析を行った。*RET* あるいは *NTRK1* 遺伝子の再配列のいずれかを持つ甲状腺乳頭がんは、若年時(20 歳未満)に中・高線量に被ばくした症例で多く見られるのに対し、*BRAF* 点突然変異を有するがんは低線量被ばくの症例で多く見られた。また、我々はこれらの既知の遺伝子変異を持たない甲状腺乳頭がん症例において、甲状腺がんではこれまで報告のない新しい遺伝子変異、即ち再配列型 anaplastic lymphoma kinase (*ALK*) 遺伝子(*EML4-ALK* 融合遺伝子)を見出した。この融合遺伝子は、非被ばく甲状腺乳頭がん症例では現在まで検出されていない。また、*EML4-ALK* 融合遺伝子は *RET*、*BRAF*、*NTRK1* および *RAS* いずれかの遺伝子に変異を持つ症例には見られないことより、この融合遺伝子は他の甲状腺乳頭がん関連遺伝子変異とは排他的に起こることが示唆された。このように、放射線関連甲状腺乳頭がんでは *ALK* や *RET* などの融合遺伝子が特徴的に観察される。さらに、このような融合遺伝子は放射線関連甲状腺乳頭がんの新しい診断マーカーとなることが期待され、高感度検出系の開発を進めている。

1. Kusunoki Y, Yamaoka M, Kubo Y, Hayashi T, Kasagi F, Douple EB, Nakachi K. T-cell Immunosenescence and inflammatory response in atomic bomb survivors. *Radiat Res* 2010; 174: 870-6.
2. Hamatani K, Eguchi H, Mukai M, Takahashi K, Ito R, Taga M, Imai K, Cologne J, Soda M, Arihiro K, Fujihara M, Abe K, Hayashi T, Nakashima M, Sekine I, Yasui W, Hayashi Y, Nakachi K. *RET/PTC* rearrangements preferentially occurred in papillary thyroid cancer among atomic bomb survivors exposed to high radiation dose. *Cancer Res* 2008; 68: 7176-82.
3. Hamatani K, Mukai M, Takahashi K, Hayashi Y, Nakachi K, Kusunoki Y. Rearranged anaplastic lymphoma kinase (*ALK*) gene in adult-onset papillary thyroid cancer among atomic-bomb survivors. *Thyroid* 2012; 22: 1153-9.

14:35-15:15 講演3

染色体分析による生物学的線量評価  
～東電福島第一原発緊急作業従事者調査の経過報告と今後の展開～

放射線医学総合研究所 緊被ばく線量評価研究プログラム  
生物線量評価研究チーム チームリーダー 数藤 由美子

染色体分析は、染色体異常を伴う疾患の診断や出生前診断に利用されていますが、放射線被ばく事故の医療においても重要な役割を果たしています。生体に強い電離放射線が当たると、遺伝物質の本体であるDNAに傷を与えます。傷が正常に修復されないと、DNAが折りたたまれた染色体の構造に異常を生じさせます。当たった線量と生成された染色体構造異常の頻度との間には一定の特徴的な関係がみられることを利用して被ばく線量が推定でき、診断に役立てられてきました。今回は、東京電力福島第一原子力発電所事故（2011年）に際しておこなった緊急作業従事者の調査を中心に紹介します。

東電福島第一原発緊急作業従事者に対する疫学的研究における  
線量評価と健康影響

放射線医学総合研究所 理事 明石 真言

金ウンジュ、谷幸太郎、蜂谷みさを、栗原治

放射性物質が体内に摂取されると、体内に存在し、放射線を出している限り内部被ばくが起きる。放射性物質は、時間とともに原子数が減少し、放射線を出す能力が減少する。この能力が 1/2 になるまでの時間を物理学的半減期という。一方、体内に吸収された放射性物質は、その性質にしたがい代謝され、体外へと排出されるが、体内に吸収された物質量が半分になるまでの時間を生物学的半減期という。つまり被ばく線量は、物理学的に放射線を出している時間と、体内に留まっている時間の両者を考えることで、評価する。物理学的半減期が同じであれば、生物学的半減期が短いほど、線量は小さくなる。内部被ばくは、多くの場合低線量率被ばくであり、確定的影響が出ることは極稀であり、線量が同じであっても、外部被ばくに比べ症状は極めて現れにくい。

内部被ばくの線量は、外部被ばくと異なり預託実効線量で示す。放射性物質の摂取後に、体内に残留している放射性物質から個々の組織又は臓器が受ける線量率を時間積分した線量である。成人ならば摂取後 50 年間、小児の場合は 70 歳までに被ばくする積算量をいい、この線量を 1 年間で全て被ばくすると仮定して計算するが、実際はまだ被ばくしていない線量も含むことになる。

2013 年 3 月に東京電力福島第一原子力発電所で起きた事故では、作業員の内部被ばく線量評価は、体外計測法により行われた。体外計測法とは、Whole body counter (WBC) などにより、体内に摂取された放射性物質から放出される透過性放射線を体外で検出し、そのエネルギーから放射性物質の同定と量を測定する方法である。従って、 $\gamma$  線や X 線を放出する核種が対象となり、 $\alpha$  線もしくは  $\beta$  線のみを放出する核種を検出することはできない。WBC は、体表面と体内の放射性物質を区別できないため、被検者の体表面に放射性物質の汚染があると、過大評価につながる。WBC により得られた放射線のカウント count per minute (cpm) は、放射性物質のエネルギーと機器の検出効率等から、体内の放射エネルギー Bq に換算される。つまり WBC でわかるのは、測定時に体内に残存している放射性物質の種類と放射エネルギーだけである。放射性物質が体内に取り込まれた場合、経口摂取なのかもしくは吸入なのかその経路、一度に摂取されたのか

(急性摂取)、徐々になのか(慢性摂取)、測定日の何日前に摂取されたのか等がわからないと線量 Sv は計算できず、この“シナリオ”次第で線量は大きく変わる。「東電福島第一原発緊急作業従事者に対する疫学的研究」で、線量の再評価を行う理由はここにある。摂取日や経路が不明の場合、可能性のある最も早期に、また急性吸入摂取という最も“保守的”なシナリオで計算するため、考えうる最大の線量になる。しかしながら、数日にわたる摂取であることが分かると、線量は下がることになる。また異なった時期に WBC の測定が複数回行われている結果があることも、より正確な線量につながる。この様に、事故以降の行動や、検査記録を収集することで、線量は変わり、より正確な線量を得ることになる。健康影響という観点からは、行うべき治療を行わないことを避けるため、過大評価は許されるかもしれないが、急性かつ一回のみの吸入とする“シナリオ”による「安全側」「保守的」な線量評価は、科学的には正確とは言えず、疫学調査の横軸には不適當である。今回の「東電福島第一原発緊急作業従事者に対する疫学的研究」の線量評価では、染色体異常頻度に基づく生物学的線量評価も併せ、多角的な見地から線量の再評価が求められている。

## 「復興に向けて目指すこと・学んだこと～復興への総合戦略～」

16:10-16:50 講演 1

### 『被災県の医療従事者として』

公益財団法人星総合病院 理事長  
福島県医師会 常任理事 星 北斗

震災、原発災害からの復興の為に一番大切なことは人材の確保である。復興の為に原発作業員、医療サービス提供者、そして地域再生の為に若年層の定着するためには、適切なリスクコミュニケーションのデザインがあらかじめ用意されていなければならない。

次に、後追い型の検査や調査が行われたが、記録や利用には大きな問題を残した。特に短半減期物質による内部被ばくデータは、政府も十分に活用されていないし、そもそも必要なデータが測定されていない。これらについても計画的に準備されていることが求められる。

最後に、事故直後を中心に何よりも適切な情報提供が行われることが必要である。そのためには測定・分析・公表のプロセスがあらかじめ定められ、政府や関係者の意図を介さずにそれが実行されることが必要であった。

16:50-17:30 講演 2

### 『大学における大震災とその後 ～教訓と課題～』

東北大学大学院 医学系研究科産業医学分野 教授 黒澤 一

東北大学が東日本大震災に遭遇し、大きな被害に会いました。大学には宮城県沖地震の教訓があり、またその再来の確度が高く警戒の中で来たのですが、予測をはるかに超える規模の地震となりました。平時の備え、襲来時の急性期、回復期、復興の現在と大学の観点からそれらをまとめてお話したいと思います。

17:40–18:20 講演3

『作業環境測定士の立場で東北震災に学んだこと、現在の取り組み』

九州工業大 安全衛生推進室 准教授 中村 修

私は作業環境測定士として、震災発生時及びその後の復旧活動期にはほとんど活動できなかった。しかし、実際には学内のいたるところで化学物質の漏えいが発生し、現場の職員が命がけで復旧の対応に従事していた。その様な非定常作業におけるばく露状況を測定し、記録を残さなかったことは失敗であった。その失敗から学んだことと、現在の取り組みについて述べる。

18:20–19:00 講演4

『低価格で短時間測定が可能な放射能分析装置の開発』

三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 主任研究員 西沢 博志

従来不十分だったヨウ化ナトリウムシンチレーターの放射能分析能力を、新しく開発した信号復元技術により向上した。従来から用いられているゲルマニウム半導体検出器に比べ、約10分の1の短時間で測定でき、同時に低価格化を実現した。開発した技術と、被災地現地での測定試験の結果について報告する。