



Photo Yasuhiro Kirano

## Index

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 「原子力の日」に思う<br>原子力新時代を迎えて……………小口 正範                | 1  |
| がん脳転移に対する治療法の動向とZAP-Xによる実際 …丸山 隆志                 | 3  |
| 〔コラム〕 70th Column<br>【涼しい夏と暖かい冬】……………中川 恵一        | 8  |
| 〔施設訪問記⑨〕<br>ー どうぶつの総合病院訪問記の巻 ー ……………              | 9  |
| 令和 6 年度 医療放射線防護連絡協議会の開催案内 ……………                   | 13 |
| IAEA事故・緊急事態対応センター紹介 ……………立崎 英夫                    | 14 |
| 〔サービス部門からのお知らせ〕<br>変更されていないガラスバッジが届いた！こんなときは…………… | 19 |

## ●「原子力の日」に思う

### 原子力新時代を迎えて

国立研究開発法人  
日本原子力研究開発機構 理事長

小口 正範\*



国際社会における位置づけが相対的に低下しているなか、わが国は世界レベルで起こっている大きな変革の波を受け止め、乗り越えるという大きなチャレンジに直面しています。

この変革の波は、政治的には国連を中心とした国際秩序がロシアのウクライナ侵攻を機に機能不全に陥りつつあること、経済的にはわが国の産業立国の前提となっていた自由貿易体制が崩れむしろブロック化の傾向がみられること、社会的には従来の炭素消費型社会から脱炭素社会すなわちサステナブル社会への転換が急速に現実化していることなど、かつて経験したことがない規模でかつ同時性を以って押し寄せております。この複雑で難解な問題を解いてゆかなければわが国の将来は極めて厳しいものになると考えています。

国民が安心して健康な生活を送るためには食料とエネルギーの確保が大前提になります。ところがその自給率を見るとまことに心細い限りです。食料自給率は40%未満で他のG7諸国と比べて大きく劣後しています。またエネルギー自給率は10%をやや上回る程度でこれもまたダントツの最下位です。

さらに間の悪いことに経済力、国家財政、人口動向や社会活力、国民の担税能力などのあらゆるデータはわが国の国勢の頹勢を示しています。

このような状況でかかる巨大な変革の波を

如何に乗り越えるか、また乗り越えることができるのか、まさにわが国の将来がかかっていると言っても過言ではないと思いますし、この課題は今を生きる私たちの世代が解決すべきもので次世代に先送りするべきものではありません。

政府は昨年GXポリシーを打ち出しました。これは大変重要な政治的決断であったと思います。原子力に関する国の方針を現実化する役割を担う原子力機構としてはこの本質を十分理解して日々の研究開発に反映する必要がありますが、その狙い、本質を私なりに解釈しますと「わが国を低資源、高効率な社会に変革する。かつそれを脱炭素で実現する」ということではないかと思っています。

即ち、国家基盤の重要な要素であるエネルギーを如何に低資源、高効率で供給するシステムを構築するか、尚かつそれを脱炭素で実現することができるかということになりますが、そのためには、これまで「単純な足し算」で考えられてきたエネルギーミックスをこれからは更に「プラスα」する発想が求められますし、同時にエネルギーの自給率を高めかつ長期安定させる必要もあります。そのための手段として原子力は極めて現実的で有力なオプションだと思います。

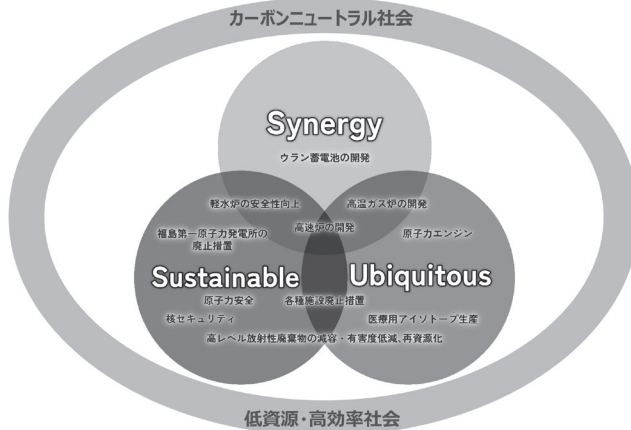
一方で、原子力はその莫大なエネルギーの発生源であるが故に一度コントロールを失うと大変な災厄を社会にもたらすのも事実です。故に、これまで以上に安全研究に意を用いなければなりません。また原子燃料からエネルギーを取り出す過程で必然的に生じる核分裂生成物（いわゆる核のゴミと呼ばれるもの）の処理・処分の問題も残っています。私たちは研究開発を通じてこれらの廃棄物を資源化することも考えてゆかなければなりません。

原子力機構ではこのような状況を踏まえ、

\* Masanori KOGUCHI



未来へつなぐ  
To the Future / JAEA



原子力科学技術を通じて、人類社会の福祉と繁栄に貢献する

原子力技術はわが国の基盤的技術分野として国際競争に耐えてゆく必要があります。また、国際連携を追求するに際しても、わが国に何か競争優位な技術がなければ誰も相手にしてくれません。

現在、原子力に追い風が吹いているように見えますが、その実体をよく見れば、リソース面においても時間軸においても相当追い詰められた、危機的な状況にあることは認識しておかなければならないと思っております。

研究開発の方向性を明確にすべく昨年4月に新しいヴィジョンを打ち出しました。それは次の三分野から成り立っています。

- ①Synergy：原子力と再生可能エネルギーの相乗効果を徹底追及する研究開発
- ②Sustainable：原子力それ自体を継続可能なものにする研究開発
- ③Ubiquitous：原子力を社会の中広い分野で活用する研究開発

いずれの分野もいわばイノベーションの巣と言っても過言ではなく、そう簡単に実現するものではありませんが、国研として民間では取れないリスクを取りつつ原子力利用の最先端に位置してその実現に全力を尽くしたいと考えています。

更に言えば、残された時間もそうありません。それは2050年が脱炭素社会達成のゴールというだけではなく、これから海外諸国、特に米国においてダイナミックなりソース投入が行われ、原子力の先端研究分野で爆発的な成果が生まれるのではないかと、という危機感とその背景にあります。わが国のタイムラインでものごとを進めてゆけば、あっという間に世界から置いてきぼりを食らってしまいます。

わが国の将来を考えた時、原子力の可能性を最大活用することは必要不可欠なことだと思います。一方で原子力に携わる私たちは、国民の理解、限られたリソース、そして厳しい時間軸といった制約条件の中で所謂ナローパス (narrow path) を探し続けなければなりません。原子力機構は改めて強い覚悟でこれらの課題に果敢にチャレンジし続けます。

#### 著者プロフィール

昭和53年3月 北海道大学法学部卒業

#### 主要職歴

|         |                                        |
|---------|----------------------------------------|
| 昭和53年4月 | 三菱重工業株式会社 本社 総務部                       |
| 平成20年4月 | 同社 本社 資金部長                             |
| 平成25年4月 | 同社 本社 経理総括部長                           |
| 平成26年4月 | 同社 執行役員 本社 グループ戦略推進室長                  |
| 平成27年6月 | 同社 取締役 常務執行役員 最高財務責任者 兼 本社 グループ戦略推進室長  |
| 平成30年4月 | 同社 取締役 副社長執行役員 最高財務責任者 兼 本社 グループ戦略推進室長 |
| 平成30年6月 | 同社 取締役 副社長執行役員 最高財務責任者                 |
| 令和2年6月  | 同社 顧問                                  |
| 令和4年4月  | 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 理事長                |

# がん脳転移に対する治療法の動向と ZAP-Xによる実際

丸山 隆志\*

がんの脳転移の新たなキーワードとしてオリゴメタスターシスが盛んに論じられています。このOligometastatic Disease（以下OD）はHellmanとWeichselbaumにより1995年に提唱され、局所転移と全身転移の中間的な状態に位置するがんの状態に対して命名されました。本邦では“少数転移”や“オリゴ転移”などと翻訳されることが多いのですが、明確な定義は決まっています。このODは積極的な局所治療と補助的な薬物療法の組み合わせにより治療成績が改善すると考えられていて、特に肺がん、乳がん、前立腺がんでの知見が集まりつつあります。この積極的な局所治療の主役を担うのが定位放射線治療であり、定位放射線治療（Stereotactic Radiotherapy：SRT）や体幹部定位放射線治療（Stereotactic Body Radiotherapy：SBRT）を用いた臨床試験が種々のがん腫に対して行われています。背景にあるのは、精度の高い局所照射を可能とする照射装置の開発と普及にあります。体幹臓器に対する正確な照射には、呼吸性の変動や精度の高い標的病変の描出が必須であることは論を待ちません。

重要構造の塊ともいえる脳の領域では、放射線による正常構造への障害を回避しつつ、標的病変にいかにより正確に処方線量を届けるかをテーマとして治

療法の開発が進められてきました。肺がん、乳がんでは約3割の症例に発生する脳転移への局所放射線治療は、1960年代からガンマナイフにて行われてきました。ところが、他の転移部位と脳の領域では薬物療法の効果が異なるため、提唱されているODとは内容が異なり、放射線治療に治療の重点がおかれる傾向にあります。他の領域に先駆けて発展した脳転移への局所照射における最近の話題は、寡分割照射と術前照射です。加えて、ガンマナイフ（GK）、サイバーナイフ（CK）をベースとしてZAP-Xが新たな治療装置として誕生し、本邦では2施設での稼働がすでに開始されています。

がんの脳転移に対する定位放射線治療を知る上で重要と考えられる臨床試験の結果を参考に、最近の動向について解説を行います。

## ZAP-X開発の経緯

ZAP-Xは、ガンマナイフの経験をもとにサイバーナイフを開発したJohn R. Adlerが、これら2機種の特性を熟知した上で開発した第三世代の定位放射線装置です（図1）。1985年、ハーバード大学Massachusetts General Hospital在籍時に、

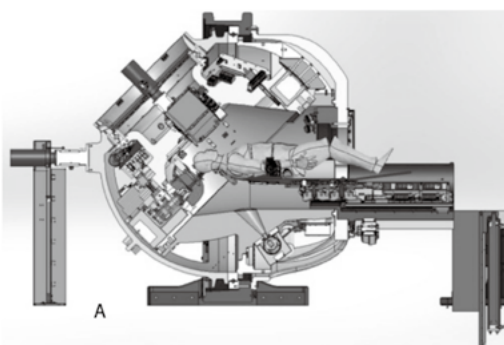


図1

\* Takashi MARUYAMA 宇都宮脳脊髄センター・シンフォニー病院 脳神経外科・腫瘍外科部門

カロリンスカ大学にてガンマナイフと出会います。ガンマナイフでの侵襲性の高いヘッドピンによるフレーム固定を行わず、かつ不整形をした腫瘍への克服方法を発案し、工業用ロボットの応用と画像のデジタル処理技術を用いたサイバーナイフを開発しました。1994年FDA（アメリカ食品医薬品局）の認可を受け、脳神経外科領域への治療がスタンフォード大学にて始まりました。その後、サイバーナイフでは呼吸性の変動をトラッキング（追跡）できる機構を付与したことから、脳外科領域にとどまらず広く体幹部治療装置として放射線治療医の取り扱う機種として普及が進みました。ODに対するSBRTは、この体幹の変動へのトラッキング技術が成熟したことにより展開が拡大することとなりました。

サイバーナイフを世に送り出した後の克服課題として、コバルト60線源の安定供給への懸念、厳重な放射線管理のため導入できる施設が限定されてしまうこと、治療計画やソフトウェアの専門性が増し、本来の目的であった脳神経外科医の取り扱う機器という概念から外れてしまいつつあること、が挙げられました。想定では世界で年間200万人を超える定位放射線治療の対象患者数に対し、実際に治療を受けられたのは15万人程度という現状を打破するべく、あらためて脳神経外科医が取り扱うことのできる治療機器としてZAP-Xが開発されました。2017年のFDA承認から2年後、世界最大の脳神経外科専門センターであるBarrow Neurological Institute（パロー神経学研究所）にて治療が開始され、本邦では2022年3月より当院での初動機での治療が始まりました。

## がん脳転移への放射線治療の変遷

かつて手術と全脳照射（Whole Brain Radiation Therapy：WBRT）による治療が歴史的な標準治療として行われましたが、脳転移手術後の補助的なWBRTは、手術単独と比較して頭蓋内再発および神経学的基準による死亡のリスクを減少させるものの、全生存期間（Overall Survival：OS）の改善は見られませんでした。加えて、複数のランダム化試験ではWBRTによる神経学のおよび高次脳機能に対する毒性が顕著であることが示されました<sup>1)</sup>。これに代わり定位放射線手術

（Stereotactic Radiosurgery：SRS）がWBRTに対する代替手段として、OSに有意差は認めないものの、6か月時点での認知機能リスクをWBRT群の85%に対しSRS群では52%に減少させるとのデータが示され、前向きなランダム化試験の結果、がんの脳転移に対する標準的な治療となりました<sup>2)</sup>。ただし、摘出術後のSRSによる局所コントロール不良（Local Failure、以下LF）、放射線壊死（Radiation Necrosis、以下RN）、および髄腔内播種（Meningeal Disease、以下MD）の発生率の増加が次の課題となりました。複数の第三相試験の結果、LF率、RN発生率、MD発生率はそれぞれ25-50%、0-3%、7-28%であり、これらを克服するための治療法の改良に進むこととなります<sup>2-4)</sup>。WBRTと比べ、局所へ集中した線量の増加は腫瘍制御率を向上しますが、必然的に放射線壊死を誘発します。Mahajanらによる、病変の全摘出後経過観察に対するSRS術後照射に関する第三相比較試験の結果では、RN、LF、MDの発生率はそれぞれ0%、24%、および28%でした<sup>4)</sup>。同じく第三相試験にて術後のWBRTとSRSとを比較した切除転移性脳疾患（NCCTG N107C）ではSRS治療群でのgrade 2以上のRN、LF、およびMDの発生頻度はそれぞれ4%、38%、および7%でした<sup>2)</sup>。これら複数の第三相試験を経て、術後のSRSによる治療成績の向上を求めて摘出前の局所放射線照射、および単回照射から分割照射へと治療法の改良が考案されました。

## 単回照射と分割照射

術後の局所照射の場合、外科的に生じた空洞部分を含めた照射範囲を設定するため、単回の定位放射線照射（Single fractionated stereotactic radiosurgery、以下SSRS）では照射領域の拡大による処方線量の減少となることが腫瘍制御率の低下につながります。これに対し分割照射（Fractionated Stereotactic Radiotherapy 以下FSRT）を行うことで、より高い生物学的有効線量（BED）を安全に処方することが想定されました。24件の後ろ向きコホート試験をまとめたメタアナリシスの結果では、術後FSRTとSSRSを比較した結果、SRSでの1年後の局所制御率が68.0%に対してFSRTでは86.8%（ $p=0.08$ ）、RNはSSRS 10%に対してFSRT 7%（ $p=0.46$ ）となり、FSRTの有用性が示唆される

結果となりました<sup>5)</sup>。米国医学物理学会（American Association of Physicists in Medicine : AAPM）のワーキンググループからSSRSおよびFSRT後の放射線誘発毒性を生じる線量および予測因子に関する51件の文献の渉猟の結果が2020年に発表され、SSRSでの12Gyによる照射ではRNの発生頻度は腫瘍体積5cm<sup>3</sup>、10cm<sup>3</sup>、15cm<sup>3</sup>以上ではそれぞれ10%、15%、20%であったのに対し、FSRTでは20cm<sup>3</sup>以下の腫瘍サイズに対して3分割20Gyまたは5分割24Gyの照射の場合、壊死や浮腫の発生リスクは10%以下と報告されています<sup>6)</sup>。現在、腫瘍径の大きな脳転移に対する摘出術後のSSRS治療群をコントロールとしてFSRTの有用性を検証するランダム化第三相試験（NCT04114981）が2019年より開始されており、結果が待たれるところです。

## 術前照射と術後照射

がん脳転移に対する術前照射は、摘出手術を行う前に高線量による定位放射線照射を行うことで、腫瘍細胞の活性を低下させることになります。これにより術中の物理的な腫瘍細胞の飛散による髄膜播種を回避することを目的としています。また、術後照射の場合には、腫瘍の摘出腔に加え、病変に到達するために経路した正常脳の部分や閉鎖した硬膜部分まで含めることになるため、照射範囲が拡大することから正常脳への照射による放射線障害の発生リスクが高まることになります。このため照射線量を低くする必要が生じ、局所制御率が低下することも懸念されます。これらを克服することを目的として、Patelらは術前SRS+摘出術と、摘出術+術後SRSとの後方視的解析を行いました。その結果、局所の再発率に有意差は認めなかったものの、MDの発生率は術前SRS群16.6%に対し術後SRS群では3.2%、症候性RN発生率では16.4%に対し4.8%と良好な成績が報告されました<sup>7)</sup>。本邦では静岡がんセンターからパイロットスタディーとして20名の大きなサイズの症候性脳転移症例に対し、術前5分割でのFSRTによる後方視的研究が行われています。その結果、6か月での局所再発率は7.7%、症候性RN発生率は0%、MD発生率は5%であり、海外から報告された局所再発率である術後SRS 19.6%、術前SRS 15.9%と比較し良好な成績となる可能性が示唆されています<sup>8)</sup>。

海外では2023年にPerlowらによる2施設での後方視的研究として、術前または術後にSSRSまたはFSRTが選択された279症例の解析が行われました。解析対象は近年局所放射線治療において多く用いられるようになった複合エンドポイントで、LF、MD、grade 2以上のRNのいずれかの発生率と規定されています。この複合エンドポイントの累積確率は術後FSRT、術前FSRT、術後SSRS、術前SSRTの順にそれぞれ0.16、0.074、0.0、0.17という結果でした<sup>9)</sup>。SRSの成績がよいのは少ないサンプルサイズ、腫瘍量が少ないために分割を要するサイズの大きな腫瘍への治療効果と比較して必然的にコントロールがよくなることなどのバイアスがあると解釈されています。

現在、わが国では術前の分割定位放射線照射の有用性を検討することを目的とした多施設による探索的研究としてNEO-TACTICS trialが開始されています。対象は転移個数4個以下、最大径2-5cmで摘出術を予定している症例に対し、腫瘍サイズに応じて規定された処方線量を5分割で照射を行い、2週間以内に摘出術を実施するプロトコルで、局所再発割合と合併症発生割合を検証することが予定されています。手術と局所放射線治療が主たる脳転移において、さらなる治療成績の向上が期待されます。

## ZAP-Xによる術前寡分割照射

これら最近の動向から、当施設でも術前FSRTや術前SSRSに積極的に取り組んでいます。手術が適応となる脳転移症例は、原発腫瘍の制御が良好、全身麻酔または覚醒手術の適応となる一定の年齢と体調であること、手術による摘出が必要となるサイズや浮腫の状態であること、が条件となります。FSRTを選択する症例としては、初発・再発いずれかで過去の局所照射歴がなく、3cmを超えるサイズの症例が主たる対象となります。サイズの大きい腫瘍で、手術で腫瘍に切り込まず一塊としての摘出が困難な場合に、腫瘍を分割しての摘出を行ったとしても播種の予防が施されていることは大きな利点です。また、摘出による後遺障害が高率に予想される場合には、意図的に一部残存することも可能なため、手術による合併症の発生を予防することにもつながります。広範囲に

浮腫を伴う症例の場合には、照射によるさらなる浮腫の拡大が懸念されます。術前に照射を行い早期の摘出を行うことで、術後の浮腫の発生を高率に予防することにもつながります。このような目的で、脳の重要な機能をもつ領域に発生した転移症例に対し、当施設ではSSRSでの照射後3日以内に摘出を行う方針で良好な結果につながった症例を経験しています。

ここで紹介する症例は、50歳代の子宮がんからの脳転移をきたした症例です。原発巣への化学療法を行った1年後に鎖骨上リンパ節への転移を生じ、放射線照射が行われました。その半年後にふらつきと食思不振症状を呈し、小脳転移と多発の肺転移が発見されました。腫瘍径3 cm以上で周囲に浮腫を伴うことから生じる頭痛と歩行障害のため、床上安静の状態で入院となりました。小脳の転移病巣が辺縁不整で播種の疑いがあるとともに、

手術では脳深部に位置する腫瘍を一塊として摘出することは困難と判断し、術前SSRSを施行した後の摘出術を行いました。摘出による小脳圧迫の解除と浮腫の改善に伴い、臨床症状も即時に改善し、採取した組織診断にて免疫チェックポイント阻害剤の適応があることがわかりました。抗PD-1抗体による治療を開始したところ、肺病変に奏功し、その後9か月時点を通じても脳転移病変は再発なく、復職を果たすまでの回復に至っています(図2)。

ZAP-Xによる治療計画では、サイバーナイフでの治療計画に用いられるInverse plan、ガンマナイフでのForward plan、この両者を併用するForward-Inverse planの3通りの計画が可能です。本症例では摘出して境界周囲の浮腫脳を含めた摘出を行うことになるため、腫瘍本体に集中した照射を行うことを意図して、Gd造影領域に対して50%isodose 16Gyの線量が処方されました。治療計画と照射前テスト一致率(% passing rate)は99.49%を検証した上での照射を行っています(図3)。

Forward planを用いる場合、ガンマナイフ治療に準じて辺縁線量50%処方で行うため、最大線量が2倍となり標的中央部分に高い線量が含まれることから腫瘍制御に寄与することになります。一方、Inverse planを用いる場合には、辺縁1~2 mmを含むPTV (Planning Target Volume、計画標的体積) に対し辺縁線量98%処方での照射を行うことになります。分割照射の場合、標的に生じる処方線量より高い領域がのちに想定外の合併症の原因になることを回避するため、均一な分

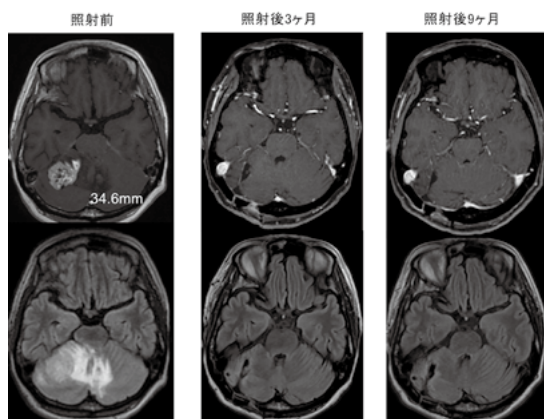


図 2

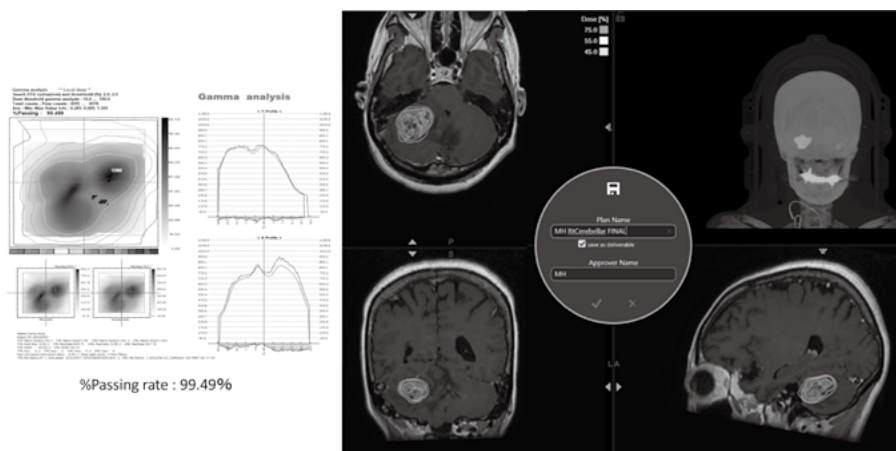


図 3

布を目指す分割照射を想定することになります。手術による摘出を抑えていることを前提に治療計画を立てることから、症例のサイズや転移巣の状態、術前の神経症状を考慮し、最適な治療プランを選択できることがZAP-Xの特性であり、脳外科医による治療計画がダイレクトに反映される治療機器でもあります。

## 終わりに

がんの脳転移をきたしやすい肺がん・乳がんでは、分子標的や免疫チェックポイント阻害剤などの新たな抗腫瘍効果をもつ治療手段が次々と開発され、治療成績は確実に向上しつつあります。ただし、さまざまな第三相試験において、脳転移をきたして以降の薬剤の反応や、原発と転移巣への効果の違いまでの検証に至らないことが多くあります。薬剤の効果は原発病変と脳転移病変では異なる場合も多く、体幹部におけるオリゴメタスタシスとは異なる考え方が必要になります。必然的に、脳転移に対しては外科的切除と局所放射線照射での治療成績の向上に集中する必要があります。また、最適な治療効果が得られる処方線量や分割回数など、多くの課題が残されています。ZAP-Xの特性として、線源から照射対象までの距離が短縮したことから得られる線量率が向上したことが機器の特性です。限られた症例数ではありますが、同じX線照射装置であるサイバーナイフと比較して、線量率の向上が腫瘍制御効果の違いとして現れるのではないかと予想しています。今後、ZAP-Xによる治療症例の蓄積から、機械特性による治療成績の違いが明らかになることを期待しています。

## 参考文献

1. Brown PD, Jaeckle K, Ballman KV, et al. Effect of Radiosurgery Alone vs Radiosurgery With Whole Brain Radiation Therapy on Cognitive Function in Patients With 1 to 3 Brain Metastases: A Randomized Clinical Trial. JAMA 2016;316:401-9.
2. Brown PD, Ballman KV, Cerhan JH, et al. Postoperative stereotactic radiosurgery compared with whole brain radiotherapy for resected metastatic brain disease (NCCTG N107C/CEC-3) : a multicentre, randomised,

controlled, phase 3 trial. Lancet Oncol 2017;18:1049-60.

3. Kayama T, Sato S, Sakurada K, et al. Effects of Surgery With Salvage Stereotactic Radiosurgery Versus Surgery With Whole-Brain Radiation Therapy in Patients With One to Four Brain Metastases (JCOG0504) : A Phase III, Noninferiority, Randomized Controlled Trial. J Clin Oncol 2018;JCO2018786186.
4. Mahajan A, Ahmed S, McAleer MF, et al. Post-operative stereotactic radiosurgery versus observation for completely resected brain metastases: a single-centre, randomised, controlled, phase 3 trial. Lancet Oncol 2017;18:1040-8.
5. Lehrer EJ, Peterson JL, Zaorsky NG, et al. Single versus Multifraction Stereotactic Radiosurgery for Large Brain Metastases: An International Meta-analysis of 24 Trials. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2019;103:618-30.
6. Milano MT, Grimm J, Niemierko A, et al. Single- and Multifraction Stereotactic Radiosurgery Dose/Volume Tolerances of the Brain. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2021;110:68-86.
7. Patel KR, Burri SH, Boselli D, et al. Comparing pre-operative stereotactic radiosurgery (SRS) to post-operative whole brain radiation therapy (WBRT) for resectable brain metastases: a multi-institutional analysis. J Neurooncol 2017;131:611-8.
8. Deguchi S, Mitsuya K, Yasui K, et al. Neoadjuvant fractionated stereotactic radiotherapy followed by piecemeal resection of brain metastasis: a case series of 20 patients. Int J Clin Oncol 2022;27:481-7.
9. Perlow HK, Ho C, Matsui JK, et al. Comparing pre-operative versus post-operative single and multi-fraction stereotactic radiotherapy for patients with resectable brain metastases. Clin Transl Radiat Oncol 2023;38:117-22.

## 著者プロフィール

昭和大学医学部を卒業後、東京女子医科大学脳神経外科に入局。大学院にてハーバード大学 Brigham and Women's Hospital, Brain Tumor Research CenterにResearch fellowとして留学、博士号を取得する。平成21年同大講師および同大大学院 先端生命医科学研究所 先端工学外科分野講師兼務。平成28年より同大がんセンター研修室室長としてカンサーボードを主催。令和2年、同大非常勤講師、令和4年より現職に至る。2007年よりJCOGプロトコル審査および2016年からのカンサーボードを通じ、各がん腫に対する臨床試験に精通。現在進行中の悪性神経膠腫に対する第三相試験JCOG1016の事務局を務める。専門は悪性脳腫瘍への手術、特に覚醒下手術での経験をもち、ZAP-Xによる定位放射線治療と手術のベストミックスを目指す。脳神経外科コンgres運営委員、日本脳神経外科学会代議員、ニューロリハビリテーション学会評議員。

## 涼しい夏と暖かい冬

地球温暖化が原因と思われる夏の暑さは年々顕著になっています。世界では毎年のように熱波や猛暑による影響が報じられています。日本でも死亡者数は少ないとはいえ、熱中症による健康被害が増えています。

2023年の報告では、熱中症により救急搬送される人数は2023年で9万人を超えていました。これは2008年の調査開始以降2番目に多い人数です。また、搬送される人の半分は65歳以上の高齢者、発生場所は40%が住居となっています。救急搬送された人の2%程度の方は長期入院が必要な重症となっています。これは「暑い家」で暮らすことにリスクがあることを示していると言えます。

国立社会保障・人口問題研究所の人口統計資料によれば、1915年頃まで日本においては、8月の死亡者数が最多でした。冷蔵庫が普及していなかった時代、夏場は食品衛生が悪く、食中毒などが多かったためと思われます。ちなみに冷蔵庫はピロリ菌の感染率を下げ、胃がん患者の減少に一役買いました。

吉田兼好も徒然草のなかで「家の作りようは、夏をむねとすべし」と書いていて、当時としては正解だったかと思います。一方で、以前のこのコラムで書いたように、日本人の死亡は冬に多く、「低い室温」が死因の10%を占めます。しかし、将来温暖化が進むことにより状況が変化するかもしれません。

2024年2月に医学雑誌ランセット・プラネタリ・ヘルスに掲載された論文では、世界の707都市における1969年から2020年に死亡した約1億3千万人のデータを用いて、今後の気候変動が世界の死亡者数に与える影響について分析しています。各都市を温帯、大陸性

気候帯、乾燥気候帯、熱帯の4つの地域に分類し、それぞれの地域毎に2000年から2099年までの期間において、年間平均気温が1.35℃、2.73℃、4.26℃、5.55℃上昇すると仮定した4つの気候変動シナリオについて解析しました。その結果、検討したすべての気候変動シナリオにおいて、日本のような温帯地域では、2000年代から2090年代にかけて、暑い季節による死亡率は増加し、寒い季節による死亡率は減少することがわかりました。ただし、寒い季節の死亡率は依然として高い水準を維持することもわかりました。このことは温暖化の進展に伴い、医療供給体制、住宅や建築物の構造、エネルギー供給など、夏の暑さ、冬の寒さの両方に対応することが求められることを示唆しています。

夏に涼しく暮らすこと、冬に暖かく暮らすことは、私たちの命の問題とも言えるのです。電力価格や燃料価格の高騰が続いています。冷房や暖房の使用を抑える向きもあるかもしれませんが、健康リスクが増しますので注意が必要です。

温暖化による地球環境の激変は人類の存亡にもつながる大問題だと思います。私たちが生活する上では、夏を涼しく、冬を暖かく過ごすことは健康を維持するためには重要です。そのためには電気を安価に、安心して使えることが大切になります。

福島での事故以来、原子力発電に関しては厳しい目が向けられてきましたが、最近のエネルギー情勢や地球温暖化の問題などの影響もあってか、人々の考えも少しずつ変わってきているといった調査も見受けられます。

原子力発電所の安全確保はもちろんのこと、放射性廃棄物の処理も検討しながら、再稼働に向けた議論も進めるべきと考えています。



## ー どうぶつの総合病院訪問記の巻 ー



写真提供：どうぶつの総合病院 専門医療&救急センター

我々FBNews編集委員一同は、4月にも関わらず初夏を思わせるような好天のさなか、今回は動物医療施設として全国でも屈指の施設である「どうぶつの総合病院」を訪問させていただきました。まずは、当該医院のHP、パンフレットに記載された特徴や目指している方向などについて以下に紹介いたします。

「どうぶつの総合病院、専門医療&救急センターは、米国獣医学協会認定医が複数在籍しています。現在は、米国の専門医資格を有している専門医が9名、専門科9科とERおよび24時間体制のICU施設があり、先端医療機器を駆使しながら世界水準のチーム医療を提供いたします。当院は2023年3月に大幅な拡張及び新たな診療科を設け、総合病院としてさらに充実した医療の提供が可能となりました。【世界水準のチーム医療を動物の命に】という当院のアイデンティティに向け、先端医療設備および国際的診療科の増設を行い、より多くの命に向き合うことができるようになりました。」

「今後も様々な場面で動物やそのご家族、そしてかかりつけ医の先生方がお困りの場面でお手伝いできる施設であり続けることを目指します。また皆様のお力添えのもとでより良い動物医療、優れた人材の教育、そして臨床研究を元にした社会貢献を目指し、本邦やアジア地域、さらには世界の動物医療に貢献できるよう心新たに邁進する所存です。」

(どうぶつの総合病院様のパンフレットより引用)  
どうぶつの総合病院様の開設経緯、次世代の獣

医師育成方針、スタッフのリクルーティング手法などについて、運営会社の社長である安藤純先生（獣医師）に伺いました。

安藤先生

### 「設立からの経緯」

当院は、一次病院からご紹介いただいた二次病院として診療を行っています。また、ERに関しては、特に夜間などは紹介無しで直接来られる場合もありますが、一次診療を行う一般的な「動物病院」とは少し異なる点があります。

今から約40年前のことではありますが、獣医師免許を取得し、見習いを経て自分で15坪の店舗にて普通の動物病院を開業した時からずっと感じていたことがあります。検査や処置が難しい疾患に対して、米国等を筆頭に西欧ではもっと積極的に正確な検査や治療ができるはずなのに、技術や検査機器、治療機器などの問題、およびそれらの利用方法を熟知している人が日本にはいなかったため、いわゆる高度医療は実践されていませんでした。そのため高度な医療が必要とされる動物に対して、しっかりとした正確な提案をすることができず、獣医師として情けなく、悔しい思いをしていました。先進国と言われているこの日本で、米国から毎月数冊取り寄せていた獣医学雑誌に掲載されているような最適で最先端の治療ができる施設が何故無いのか不思議だったのですが、読み込むうちに次第にそれらの施設や専門医たちの知識や技術が妄想のように頭から離れなくなり、結局は20年間以上にわたって、ハードだけでなくソフトも集合させた、いわゆる総合病院実現に向

かって動き始めました。一方で自分が所属する埼玉県南部（当時の浦和市、川口市、戸田市、蕨市、与野市、朝霞市）の会議にて、何とか夜間の救急病院が作れないか検討するように言われ、最低限の参加人数と費用などを記載したドラフトを作成し、当時の埼玉県獣医師会南第一支部の総会にて可決し、獣医師60名がお金を出し合って、店舗の夜間専門の動物病院を立ち上げました。初めはてんでこ舞いでしたが、次第に周知度も上がり順調に推移しました。と同時に「昼間がもったいないので何か専門的な医療をやりたい」とか、果ては「CT、MRIを導入したい（店舗なのに）」という声が大きくなりました。1年間近く悩み、総合病院構想と一緒に考えていた仲間たちとも相談し、長年妄想していた総合病院構想と合体させたお話を埼玉りそな銀行の方々にお話ししたところ、それはおもしろいと言うことで、予想外の金額の融資に合意していただき、そのお陰で現在のどうぶつの総合病院を今から約12年前にスタートすることができました。最初の病院（現在のER棟）は現在のおよそ1/3程度の診療床面積しかありませんでしたが、院内ウェブカメラに写る人影は少なく、正直なところ大丈夫かなと思うほど、閑散としていました。しかし前を向いてみんなで目標に向かって頑張るしかなく、私も当時は時々診療を行いながら、呼びびがかかれば主に米国中を行脚し、ストーカーのように専門医を追いかけて回し始めました。そうこうしている内に次第にハードやソフトが整い始め、同時に患者数も増加し、あれだけ閑散としていた病院の診察室、手術室、入院室など全てが足りなくなり、飼い主様や紹介いただいた一次病院の先生にもご迷惑を掛けてしまうことになってしまいました。そこでもう一踏ん張りすべく、再び銀行に直談判を行い、以前融資いただいた費用の10倍以上の金額をお借りして、約2年を掛けて拡張工事を行い、さらに現在は元の棟を救急棟として改修工事を行っており、合計でおおよそ3年間かかりましたが、2024年5月末に全ての工事が終了する予定です。この間、様々な先生方にも帰国いただき、専門科も増え、予想通りの活躍をしていただいています。今回は当時やっとの思いで導入したCTやMRIも入替し、

さらにトップラインの放射線治療器も導入することができました。繰り返すようですが、私は本当に多くの方々から恩恵を受けており、今現在では臨床獣医師ではなくこの病院を運営させていただいています。とんでもない金額の融資の為に動いてくれた埼玉りそな銀行の方々、米国で既に州立大学の教員として働いているにもかかわらず、家族で日本に帰国してくれた先生方、人医で診療放射線の技師長までやっていたのにこちらに来ていただいた方、米国で既にグリーンカード（永住資格を有する移民ビザ）を有していたのに帰国してくれた方等々、本当に多数の方々に恵まれて、今現在は概ね200名（獣医師医、愛玩動物看護師、研修医、臨床検査技師、診療放射線技師、人事、経理、病院管理本部など）が働くどうぶつの総合病院 専門医療&救急センターになっています。

### 「次世代の獣医師教育について」

当院は獣医師の教育にも力を注いでおり、治療手法の均一化にも取り組んでいます。院内に独自のインターン制度を設けており、2年間ですべての診療科を体験できる制度となっています。これにより新たな研修医を多く受け入れることができ、スタッフの充実化につながっています。また本制度を監督官庁である農林水産省に紹介したところ、すぐに大臣指定臨床研修施設として指定されました。

インターンを終了した獣医師は、当院の専科に残って診療の傍らで後輩を育てるか、米国等に渡って専門医を目指す（現在3名）か、あるいは他の施設に移るかなど、様々な方向で活躍しています。

なお、本年よりAsian College of Veterinary Medicine (AiCVM) のレジデント制度が発足しました。当院もその対象病院であり、この制度の下で、循環器科、神経科、小動物内科の専門医取得を目指す獣医師が勉学や診療に勤しむことになると思います。

### 「今後の展開」

お陰様でスタッフも増え、お客様も順調に増加しており、この地域におけるさらなる増床は必要と考えています。日本では当院のような施設はまだ少ないと思いますが、各地域における同様の取り組

みの展開は、当院で経験や知識を得た人材に期待するものであります。

次に、当該医院の診療科は多数ありますが、FBNewsの読者にとって興味があるであろう部門として、昨年開設された放射線腫瘍科の吉川陽人先生（米国獣医放射線学会専門医）と渡邊技師長（放射線治療専門放射線技師、治療品質管理士）にお話を伺いました。

吉川先生

### 「動物の放射線治療について」

米国では古くから行われており、やはり当初はコバルト線源が利用されてきた。その歴史と経験の積み重ねで、かなり標準化が進んできている。私も米国で経験を積んできているが、本日はないがやはり米国で26年にわたり経験を積んできた塩満啓二郎先生（米国獣医放射線学専門医）とタッグを組んで治療にあたっている。

### 「治療部位など」

当院では脳腫瘍、鼻の腫瘍の動物が多いが、皮膚下の軟部腫瘍もターゲットにしている。基本的に分割照射を適用しているが、毎回麻酔が必要なこともあり、最大で20回程度に抑えている。その分1回当たりの投与線量はやや多くなっており、2.5Gyから3Gy程度になっている。イヌやネコにおいても挽発障害は起こりうるため、予想される腫瘍コントロール期間と、個々の患者の健康寿命とのバランス取りに神経を使う。先述の通り米国での経験などによりプロトコルはある程度確立されているが、小動物でもあることからしっかり様子をみながら慎重に治療を進めている。

### 「今後の展開」

リニアックはVarian社のTrueBeamEdgeという素晴らしい装置が導入されており、定位放射線治療（SRT）も適応疾患に対しては実施している。麻酔の問題もあるため、治療回数を少なくできるSRTは魅力的であるが、すべての症例に最適な治療になるわけではないため、今後も適応症例の見極めに注意を要する。

渡邊技師長

### 「装置の精度管理について」

先述の通りリニアックはVarian社の最上位機種

TrueBeamEdgeであり、動物病院に導入されたのは日本初である。コミッショニング、物理データ測定を含めた治療開始までの準備はすべて一人で担当してきた。治療開始後は照射及び治療計画検証、装置の品質管理業務等に携わっている。本装置の寝台精度は最小0.1mmの数値データを有し、MLC（マルチリーフコリメータ）は業界最薄の2.5mmであり、VMAT（Volumetric Modulated Arc Therapy）を用いることにより小動物の小さな腫瘍にも的確に線量投与することができている。また当院は線量精度を担保するために第三者機関による出力線量測定を行なっている。

### 「治療精度向上のための患者固定について」

全身麻酔下の小動物であるが、患者の固定はとても重要であり、現在はバキュームピローと頭頸部用シェル、上顎固定用のバイトブロックを併用して対応している。特に動きの自由度が高い頸部の固定にはピローを特注にて作成し対応している。前述の通り脳腫瘍や鼻の腫瘍が多く、装置の精度を生かすための患者固定は治療効果を最大限に発揮するための重要なファクターである。（Fig 1、Fig 2 参照）

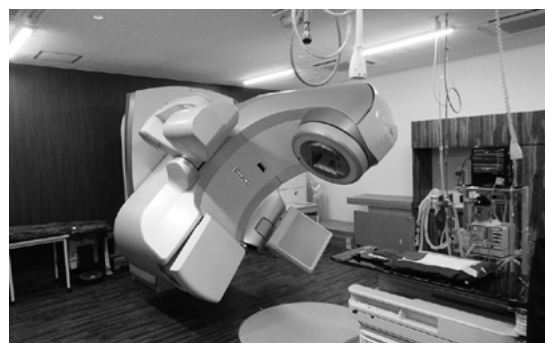


Fig. 1 TrueBeamEdge

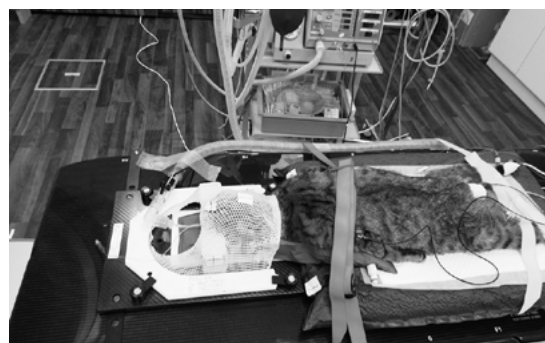


Fig. 2 患者固定の様子

### 「今後の展開」

当該装置にはHyperArcという定位手術的照射ソリューションシステムが搭載されている。今後は吉川先生も言われていたが患者固定も含め、これまで以上の照射精度を確保し、また、HyperArcを用いることによりリスク臓器の線量を十分に低減した高精度放射線治療の提供を目指していきたい。

以上のように動物病院としては世界初の治療器を備えた素晴らしい施設ですが、獣医師や愛玩動物看護師の安全にもしっかり配慮されており、多くのスタッフにガラス線量計を装着いただいております。その点について病院管理本部課長の諸角様にお聞きしました。

諸角課長

### 「安全管理について」

当院は高精度治療機器をはじめ多くの放射線診断機器を活用しており、スタッフは女性も多く、安全管理には非常に積極的に取り組んでいる。ガラス線量計を装着しているスタッフは約90名になり、不均等被ばく管理も見直し、増やしていく予定である。当院は優れた麻酔科専門医が在籍しており、麻酔をかけてのレントゲン撮影を行うこともあるが、一般撮影時に動物を保定して撮影する際は、エプロンや鉛入りの防護レンズなどを用いて、法令に従った対応をスタッフ全員認知している。

また、すべて放射線発生装置の部屋の扉付近には、環境用ガラス線量計を設置し漏洩線量管理を行なっている（Fig. 3 参照）。今後とも法令に基づき放射線安全管理は徹底していきたい。いつも

さまざまなアドバイスをいただいております。と、感謝のお言葉をいただきました。

以上、どうぶつの総合病院様の施設訪問記を記述させていただきました。社長の安藤様はじめ、ご対応いただいたスタッフの皆様に深く感謝申し上げます。また、見学している最中ですが、業務中にもかかわらず皆様からご挨拶いただき、本当に気持ちが良い対応をしていただきました。飼い主様や動物本人（？）も本当に気持ちよく治療に望めることと思います。皆様から共通して出てきた課題は、全ての新たな取り組みに監督官庁である農林水産省の許認可が必要という点です。このような高度の医療施設が農林水産省管轄ということは、私も違和感を感じました。今後は米国では普通に行われているヨウ素を使用した甲状腺治療などにも取り組んでいきたいのですが、ハードルは高そうです。なにはともあれ、安藤社長を中心にその行動指針である「責任・誠実・協調」を貫き、高品質な動物医療を実現するという取り組みで、ますますどうぶつの総合病院様が発展することを祈念して、筆をおかせていただきます。誠にありがとうございました。

最後の写真は、今回見学やインタビューに全てお付き合いいただいた病院管理本部課長の諸角様と、お邪魔させていただいた当社社員で、病院様入り口にて撮影したものです。FBNews編集委員の高雄、福田、営業担当の田谷、杉山の4名で伺わせていただきました。お忙しいところお時間をいただき、ありがとうございました。誌面を借りて御礼申し上げます。



Fig. 3 環境用ガラス線量計



右より田谷、福田、病院管理本部課長 諸角様、高雄

（文責：福田 達也）

## 令和6年度 医療放射線防護連絡協議会の開催案内

当協議会は医療放射線安全・防護に関連する学会・団体等により、1990年に設立した組織です。今回は下記のとおり開催します。詳細につきましては、HP：<http://jarpm.kenkyuukai.jp/information>に随時掲載しますので、奮ってご参加ください。



HP

当協議会は年次大会として、故・両先生の名前を冠にした、「高橋信次記念講演・古賀佑彦記念シンポジウム」を開催します。

今回は、「福島原発事故を振り返る」がテーマです。既に東京電力福島第一原子力発電所事故から13年が経過しました。この未曾有の原子力災害に国民を含め多くの関係者、特に医療放射線防護関係者は多くのことを経験し学びました。

高橋信次記念講演は、「福島と復興：原子力災害医療の課題と展望」と題し、山下俊一先生にお願いしました。福島県で13年間原子力災害医療に係わってきた教訓と経験から今後の課題・展望などの講演を頂きます。教育講演は、「放射線災害時の活動に関する教育」と題して、長谷川有史先生から講演を頂きます。

古賀佑彦記念シンポジウムは、「災害医療と放射線安全」をテーマに、各分野から3名のシンポジストの講演を行い、総合討論では今後の原子力災害医療について皆様と検討します。

なお、年次大会に参加された方には、IVR認定技師の更新認定点数及び放射線安全教育の受講終了証を発行します。(注：受講票とプログラム内容を院内に提出するとその年RI法の放射線の教育訓練は免除になります。)

### ◆第35回「高橋信次記念講演・古賀佑彦記念シンポジウム」

主 催：医療放射線防護連絡協議会 後援（予定）：厚生労働省、環境省、日本医師会  
テーマ「福島原発事故を振り返る」

○対面開催 日 時：令和6年12月13日(金) 13：00～17：00〈12：30 開場〉

会 場：東京都立大学荒川キャンパス講堂 所在地：東京都荒川区東尾久7-2-10

○WEB開催 12月23日(月)から1ヵ月。(総合討論を整理してWEB配信)

①教育講演：演 題「放射線災害時の活動に関する教育」

講演者：長谷川 有史(福島県立医科大学)

②高橋信次記念講演：演 題「福島と復興：原子力災害医療の課題と展望」

講演者：山下 俊一(福島県立医科大学)

③古賀佑彦記念シンポジウム テーマ「災害医療と放射線安全」

1) 災害現場への放射線診療の提供：井田 正博(日本放射線科専門医会)

2) 災害発生時の放射線診療部の安全：江藤 芳浩(日本診療放射線技師会)

3) 原発事故の経験から保健師として考えること：須佐 奈葉(福島県南相馬市)

④総合討論 テーマ「今後の原子力災害医療について」(60分)

座 長：菊地 透(医療放射線防護連絡協議会会長)

指定発言：①山本 尚幸(原子力安全研究協会) ②福士 政広(つくば国際大学)

参 加 費：3,500円(要旨集・受講証明終了書等の発行を含む)

対面開催：12月2日(月)までに銀行振込をお願いします。

WEB開催：12月16日(月)までに銀行振込をお願いします。

申込方法：原則として当協議会HP掲載の申し込みフォームからメールでお申し込みください。

なお、参加費支払い、変更等の問い合わせは事務局までメールをお願いします。

申 込 先：HP掲載申し込みフォーム



会場アクセス

### ◆医療放射線安全管理講習会

①第77回 ライブ開催：令和6年10月27日(日) 13：30～16：30

②第78回 ライブ開催：令和6年12月1日(日) 13：30～16：30

③WEB視聴開催(ライブ開催の第77回&78回の総合討論を整理し、1ヵ月間配信)

④参加費：4,000円

### ◆第46回「医療放射線の安全利用」フォーラム

日 時：令和7年2月8日(土) 13：30～16：30

テーマ：「タスク・シフト/シェアによる診療放射線技師への業務拡大後の放射線安全」

### ◆問合先：医療放射線防護連絡協議会 事務局

E-mail：[jimusu11@gmail.com](mailto:jimusu11@gmail.com) 〒451-0041 愛知県名古屋市中区幡下1-5-17 大野ビル1階

Fax：052-526-5101 ☎：052-526-5100 HP：<http://jarpm.kenkyuukai.jp>

# IAEA事故・緊急事態対応センター紹介



立崎 英夫\*

## 1. はじめに

本稿では、国際原子力機関（IAEA, International Atomic Energy Agency）の一部門である事故・緊急事態対応センター（IEC, Incident and Emergency Centre）の活動内容をご紹介します。まず、組織上の位置付けを説明します。IAEAの目的の3つの柱、「核兵器の水平拡散の防止」、「原子力の安全性確保」、「原子力の平和利用の推進」の中で、原子力の安全性確保を主に担うのが原子力安全・核セキュリティ局（Department of Nuclear Safety and Security）です。同局全体の情報は、同局のホームページ<sup>1)</sup>をご参照ください。原子力安全・核セキュリティ局は、その名の通り原子力や放射線の事故を防ぎ、事故発生の際にはそれに対応して影響を軽減するNuclear Safetyと、核あるいは放射性物質や施設が悪用されることを管理し防止するNuclear Securityとの2つの役割を担っています。そして同局には、下記の5つの部レベルの組織が属しています。

- Division of Radiation, Transport and Waste Safety（放射線・輸送・廃棄物安全部）
- Division of Nuclear Installation Safety

（原子力施設安全部）

- Division of Nuclear Security  
（核セキュリティ部）
- Incident and Emergency Centre  
（事故・緊急事態対応センター）
- Office of Safety and Security Coordination  
（原子力安全・核セキュリティ調整室）

この中でIECは、原子力が原因によるものでも放射線によるものでも原因の如何によらず、緊急事態に対応するために2005年に設けられました。つまり、緊急事態準備と対応（EPR: Emergency Preparedness and Response）を扱っています。筆者は、2023年1月から2024年1月まで量子科学技術研究開発機構（QST）からの派遣で、IAEA-IECにコンサルタントとして勤務させていただきましたので、ここでIEC全体の活動概要をご紹介します。

## 2. 緊急時対応体制

IECは、内部のIncident and Emergency Systemとその対応の本部となるIEC Operational Areaを管轄、準備、運用しています。Operational Areaは、有事にIAEA内部の対策本部となる施設で、緊急事態の際にはIAEA

\* Hideo TATSUZAKI 特定非営利活動法人 放射線安全フォーラム 監事

全体から専門家が集まり24時間体制で運用されます。そのため、それができるよう日ごろから機能を維持管理しています。緊急事態に際してここで働くため、IAEA職員の中から約200人が緊急時対応要員として研修を受け認定されており、これらの要員は毎年決められた研修を受けて能力を維持しています。施設としてこの対策本部は、入室制限のあるエリアに独立したネットワーク、ビデオ会議システム、外部との情報共有システム（USIE; Unified System for Information Exchange in Incidents and Emergencies）、各国の環境モニタリングデータを共有するための国際放射線監視情報システム（IRMIS; International Radiation Monitoring Information System）等を備えています。国際社会に対する広報も担います。

なお、2024年現在世界中の原子力安全に関しての大きなリスクの1つが、チェルノブール、ザポリージャ等のウクライナの原子力発

電所ですが、この対応に関してはIAEA内にウクライナ専属の特別チームが組織され、主としてそちらの部署が対応を取りまとめています。

### 3. 安全基準文書等の発刊

IECのもう1つ重要な任務は各種勧告書、技術文書の作成です。IAEAの安全基準は近年3階層に分けて作成されています（図1）。これら文書の全容や階層に関しては別資料をご参照ください<sup>2)、3)</sup>。

これらの安全基準文書の中で、IECが主に担当するEPRに関する文書の基幹となるのが、一般安全要件（General Safety Requirements）に位置付けられる「IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 7」です<sup>4)</sup>。この下に、要件を具体的に実行していく上での方針等を定め

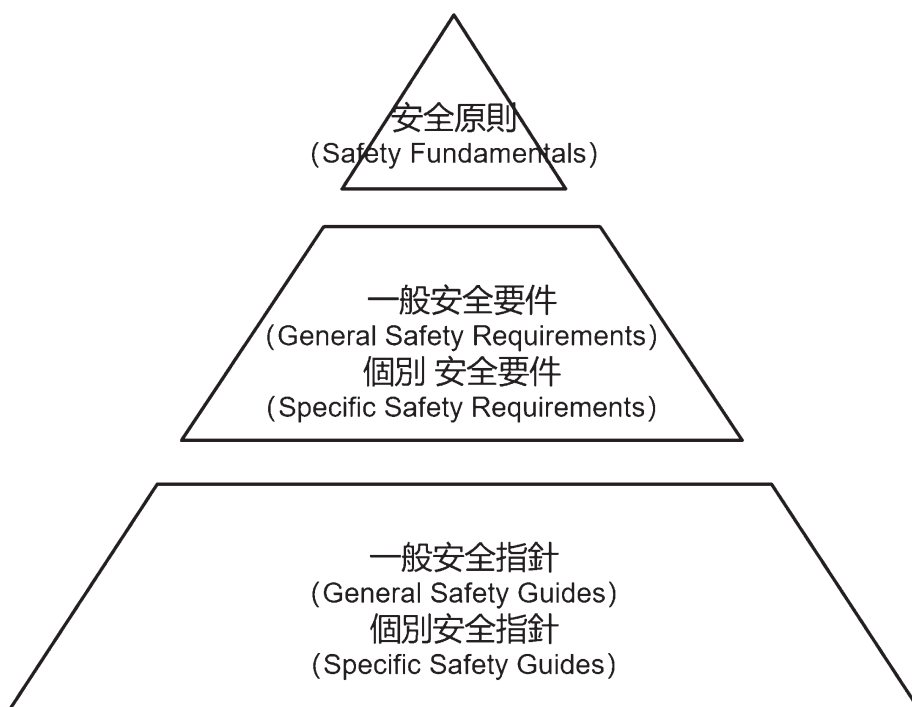


図1 IAEA安全基準の階層構造

た一般安全指針 (General Safety Guides, GSGs) と個別安全指針 (Specific Safety Guides, SSGs) が作られています。これらの安全基準の下に、さらに具体的方針、方法を示す各種の技術文書が作成されています。

筆者が専門とする放射線緊急時医学対応領域では、特化した指針はありませんが、いくつかの技術文書が刊行されています。これらの中で医学領域の中心となるのは、筆者も編纂に関与し最近刊行された「EPR-Medical 2024; Generic Procedures for Medical Response During a Nuclear or Radiological Emergency」というガイドブックです (図2)。これは2005年に出版された文書の改訂版となっています。この他にも、個別の分野ごとにEPR-Biodosimetry 2011<sup>5)</sup> やEPR-Medical Physicists 2020<sup>6)</sup> 等のEPRシリーズやSafety

Reports Series No. 101<sup>7)</sup> 等を出版してきています。そしてこれらの文書のいくつかに対応して、それに準拠したパワーポイントスライドの教材セットも複数の公用語で作成されています。

また、IECの扱う技術文書の中で重要なのが各個別の事故レポートで、シリーズとして20冊以上刊行されています (図3)。例えば、The Radiological Accident in Nueva Aldea<sup>8)</sup> ですが、これまでIAEAに報告され支援を行った事故の詳細な記録が発刊されています。

これらの文書の多くは、他の国際機関や学術団体と協力して作成、出版されています。

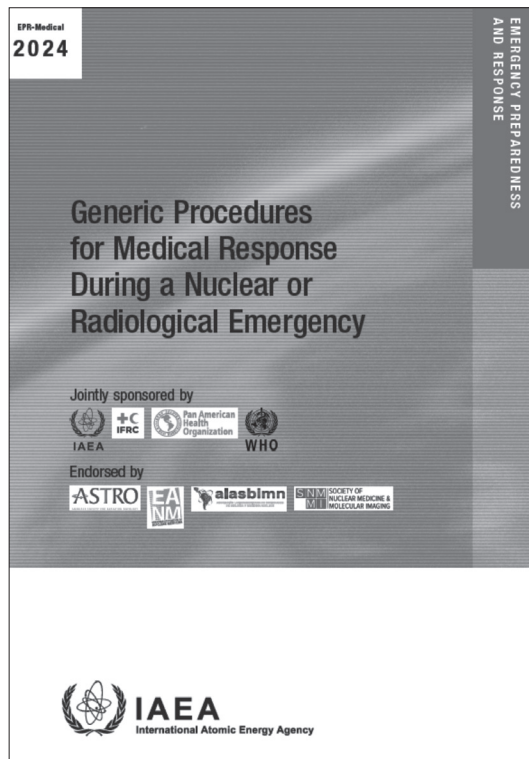


図2 医学領域のEPRのガイドブック  
EPR-Medical 2024の表紙



図3 IAEAの事故レポートの例

そして、これらの文書の電子媒体は無料で公開されています。また一部の安全基準については、日本語訳が原子力規制庁から公表されています<sup>9)</sup>。

#### 4. 情報交換促進

IECは各種のネットワークを運用し加盟国間の情報交換を促進しています。代表例を挙げると、INET-EPR (International Network for Education and Training for Emergency Preparedness and Response) は、各国の教育研修に関するネットワークで、教育、研修、人材育成、知識管理、知識ネットワークに関する情報のプラットフォームを提供し、専門的教育者や研修の専門家を結びつける役割を担っています。なお、このINET-EPRの一環として、QSTはIAEAからCBC (Capacity Building Centre) に指定されています。

また、EPRIMS (EPR Information Management System) は、加盟国の原子力、放射線緊急事態対応能力の情報共有のデータベースで、各国から申請され検証されたデータを蓄積しています。

IAEAは、RANET (Response and Assistance Network) という緊急時の各種援助をするための枠組みを作っています<sup>10)</sup>。各国はこの枠組みで、緊急時に現地に派遣したり遠隔から助言したりするための専門家を、以下の8つの分野 (Functional Area) について登録しています。

1. 原子力施設の評価と助言；Nuclear Installation Assessment and Advice
2. 線源探索と回収；Source Search and Recovery
3. 放射線サーベイ；Radiation Survey

4. 試料採取と解析；Sampling and Analysis
5. 放射線学的評価と助言；Radiological Assessment and Advice
6. 除染；Decontamination
7. 医学的支援；Medical Support
8. 線量評価；Dose Assessment

IAEAは、各国のEPRレベルの向上のための活動もしており、各種あるピアレビューの1つとして「Peer review services in EPR (EPREV)」という国ごとのEPR能力に関するピアレビュー評価を提供しています<sup>11)</sup>。この過程を通して、各国の緊急時対応能力のIAEA安全基準にそった発展を手助けしています。EPREVの流れは、開始、準備、専門家チーム派遣、追跡調査の4段階があり、加盟国からの正式な要求で始まり、まず自己評価を行ったのち、文書の確認や専門家の派遣によって評価が行われ、その結果に基づく改善がフォローされます。これまでに約50のEPREV派遣が行われてきました。

その他にもIECはIAEAの他の部署が中心になっている活動や、他の国際機関が事務局を担う多くのネットワークに参加協力しています。特にこの分野の国際機関間の調整は、Inter-Agency Committee on Radiological and Nuclear Emergencies (IACRNE；放射線及び原子力緊急事態に関する機関間委員会) によって行われています。

#### 5. 技術協力

最後に、IECはIAEAの技術協力局と共同して、各国や各地域に技術移転を行っています。これらの技術協力プロジェクトは、加盟国あるいは地域 (技術協力プロジェクトの分類では、アフリカ地域、アジア太平洋地域、

ヨーロッパ地域、ラテンアメリカカリブ地域の4つに大きく分けられています)からの要請に基づき、研修会開催、専門家派遣、短期－長期留学生、訪問者の派遣、実際の機器供与等を通して行われています。2024年現在では、EPRを中心にした技術協力プロジェクトが21個実施中ですが、その他にも計画の一部にEPRの要素を含む多くのプロジェクトが実施されています。

\*\*\*\*\*

## 6. おわりに

\*\*\*\*\*

本稿でご紹介した活動は、もちろんその全てを限られたIAEAのスタッフで実施できるわけではなく、日本も含めた各国専門家の協力や助言により実施されています。皆様のこれまでのご協力に感謝するとともに、今後ともご理解、ご支援をお願いいたします。

## 参考文献

- 1) <https://www.iaea.org/about/organizational-structure/department-of-nuclear-safety-and-security> (2024年6月30日最終アクセス)
- 2) Safety standards | IAEA, <https://www.iaea.org/resources/safety-standards> (2024年6月30日最終アクセス)
- 3) [iaea-safety-standards-brochure.pdf](https://www.ns.iaea.org/downloads/standards/iaea-safety-standards-brochure.pdf), <https://www.ns.iaea.org/downloads/standards/iaea-safety-standards-brochure.pdf> (2024年6月30日最終アクセス)
- 4) International Atomic Energy Agency (IAEA). IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 7; General Safety Requirements. Vienna, Austria: IAEA, 2015.
- 5) International Atomic Energy Agency (IAEA). EPR-Biodosimetry 2011; Cytogenetic Dosimetry: Applications in Preparedness for and Response to Radiation Emergencies. Vienna, Austria: IAEA, 2011.

- 6) International Atomic Energy Agency (IAEA). EPR-Medical Physicists 2020; Guidance for Medical Physicists Responding to a Nuclear or Radiological Emergency. Vienna, Austria: IAEA, 2020.
- 7) International Atomic Energy Agency (IAEA). Safety Reports Series No. 101; Medical Management of Radiation Injuries. Vienna, Austria: IAEA, 2020.
- 8) International Atomic Energy Agency (IAEA). The Radiological Accident in Nueva Aldea. Vienna, Austria: IAEA, 2009.
- 9) [https://www.nra.go.jp/activity/kokusai/honyaku\\_01.html](https://www.nra.go.jp/activity/kokusai/honyaku_01.html) (2024年7月3日最終アクセス)
- 10) International Atomic Energy Agency (IAEA). EPR-RANET 2018; IAEA Response and Assistance Network. Vienna, Austria: IAEA, 2018.
- 11) International Atomic Energy Agency (IAEA). IAEA Services Series 36; Emergency Preparedness Review (EPREV) Guidelines. Vienna, Austria: IAEA, 2018.

## 著者プロフィール

### ●経歴

筑波大学医学専門学群卒。筑波大学大学院博士課程医学研究科修了。医師、医学博士。  
筑波大学、マサチューセッツ総合病院、国際原子力機関（IAEA、ウィーン）、放射線医学総合研究所、量子科学技術研究開発機構に勤務。

### ●専門分野

被ばく医療、放射線治療

### ●委員、併任等

広島大学客員教授、宇宙航空研究開発機構（JAXA）招聘主幹研究員、弘前大学講師、原子力規制委員会「原子力災害事前対策の在り方等に関する検討チーム」メンバー、国際放射線単位測定委員会（ICRU）委員。NPO法人「放射線安全フォーラム」の設立時（2007）より役員を務める。

## サービス部門からのお知らせ

### 変更されていないガラスバッジが届いた！こんなときは…

平素より弊社のガラスバッジサービスをご利用くださいまして誠にありがとうございます。  
お客様より、次のようなお問い合わせをいただくことがございます。

- ・中止の依頼をしたのに、ガラスバッジが届いた
- ・名義変更をしたはずなのに、以前の使用者のままになっている
- ・追加したガラスバッジが届かない

このような事象は、ご依頼の連絡をいただいたタイミングが、弊社の設定しているメンテナンス締め切り日以降となった場合に起こります。その際には、次のようにご対応ください。

- ・中止依頼したガラスバッジ ⇒ ご使用にならずに、他のガラスバッジと一緒にご返却ください。報告書は出力されません。
- ・名義変更されていないガラスバッジ ⇒ そのまま新しい方がご使用ください。
- ・追加したガラスバッジ ⇒ 別便にて発送いたしますので、しばらくお待ちください。

なお、メンテナンスの締め切り日は、ガラスバッジと一緒にお送りしております「お届けのご案内」でご確認ください。

ご使用者の追加・変更に関するお問い合わせは、測定センターへご連絡ください。



#### — 測定センター —

TEL : 0120-506-997 FAX : 0120-995-204

\* お手続きが簡単なガラスバッジWebサービスもご利用ください。

弊社ホームページからお申込みいただけます。 <https://www.c-technol.co.jp/>

記事に関するご意見や掲載希望の記事案については、こちらまでお送りください ctc-fbnews@c-technol.co.jp

## 編集後記

- FBNewsをご覧いただきありがとうございます。本号では、原子力、がん治療、気候変動、動物医療、そしてIAEAの活動と、多岐にわたるテーマを取り上げ、それぞれの最新の取り組みや考察をお届けしました。
- 特別記事「原子力の日に思う」では、日本原子力研究開発機構の小口理事長が、原子力の新時代に向けたビジョンを力強く示しています。脱炭素社会実現に向け、原子力発電が再び注目される中、同機構の挑戦が低炭素社会の実現に貢献すると期待されます。
- 宇都宮脳脊髄センター シンフォニー病院の丸山医師による記事では、がんの治療法として注目される新治療装置ZAP-Xの実際と治療効果が詳述されています。ZAP-Xの導入により、がん治療の可能性が広がり、多くの患者さんに希望をもたらすことでしょう。
- 東京大学医学部附属病院の中川特任教授のコラム「涼しい夏と暖かい冬」では、地球温暖化による気候変動が与える影響を分析し、健康リスクや今後の医療・エネルギー

供給体制について考察しています。温暖化が進む中で、私たちの生活様式やインフラの見直しは急務です。

- 「施設訪問記 どうぶつの総合病院」では、先端医療を提供する動物病院の取り組みを紹介しました。高度な医療機器とチーム医療により、世界水準の医療を実現されています。安藤獣医師の情熱とビジョンが印象的で、動物医療の未来に希望を感じます。
- 立崎氏による「IAEA事故・緊急事態センター紹介」では、IAEA・IECの活動が詳しく解説されています。IECは原子力事故への対応にあたり、常に万全の体制を整えています。具体的な事例を通じて、IAEAの国際的な取り組みの重要性がわかります。
- これらの記事が、読者の皆様にとって新たな知見や考察のきっかけとなれば幸いです。今後も皆様のご期待に応えられるような記事を提供してまいりますので、引き続きご愛読のほどよろしくお願い申し上げます。  
(小口 靖弘)

## FBNews No.574

発行日／2024年10月1日

発行人／井上任

編集委員／小山重成 小口靖弘 中村尚司 野村貴美 古田悦子 青山伸 福田達也 藤森昭彦  
篠崎和佳子 高橋英典 田谷玲子 東元周平 堀口亜由美 松本和樹 丸山百合子 村山賢太郎

発行所／株式会社千代田テクノ

所在地／☎113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル

<https://www.c-technol.co.jp/>

印刷／株式会社テクノサポートシステム

— 禁無断転載 — 定価400円（本体364円）