

カナダにおける原子力災害の備え : 医学的観点 (仮訳)

David A. Koff MD FRCPC

Chief/Chair Department Radiology McMaster University

カナダにおける原子力および放射線危機の原因

- 原子力発電所での事故
 - カナダでは最も可能性が高い
- 核兵器または簡易核兵器の爆発
- 隠れた放射線学露出装置の設置
- カナダの港における原子力船の事故または人工衛星の大気圏再突入
- 医療施設における放射線有事
 - 放射線腫瘍学 (large activity 密封線源)
 - 核医学 (診断的または治療的な使用量)
 - 研究 (バイオマーカー)

カナダにおける原子力発電

- 原子力発電所がカナダの15%以上の電力を供給:
 - カナダでは18原子力発電所が稼働
 - オンタリオ州の3カ所に16原子炉
 - ブルース原子力発電所: 8CANDU炉、最大出力が6,268 MWの世界でも最大規模の原子力発電所
 - ダーリントン原子力発電所: 4CANDU炉
 - ピカリング原子力発電所: 4CANDU炉がケベックに1カ所
 - ニューブランズウィックに1カ所: 1CANDU炉
 - ケベックに1カ所: Gentilly 2, 2012年に閉鎖

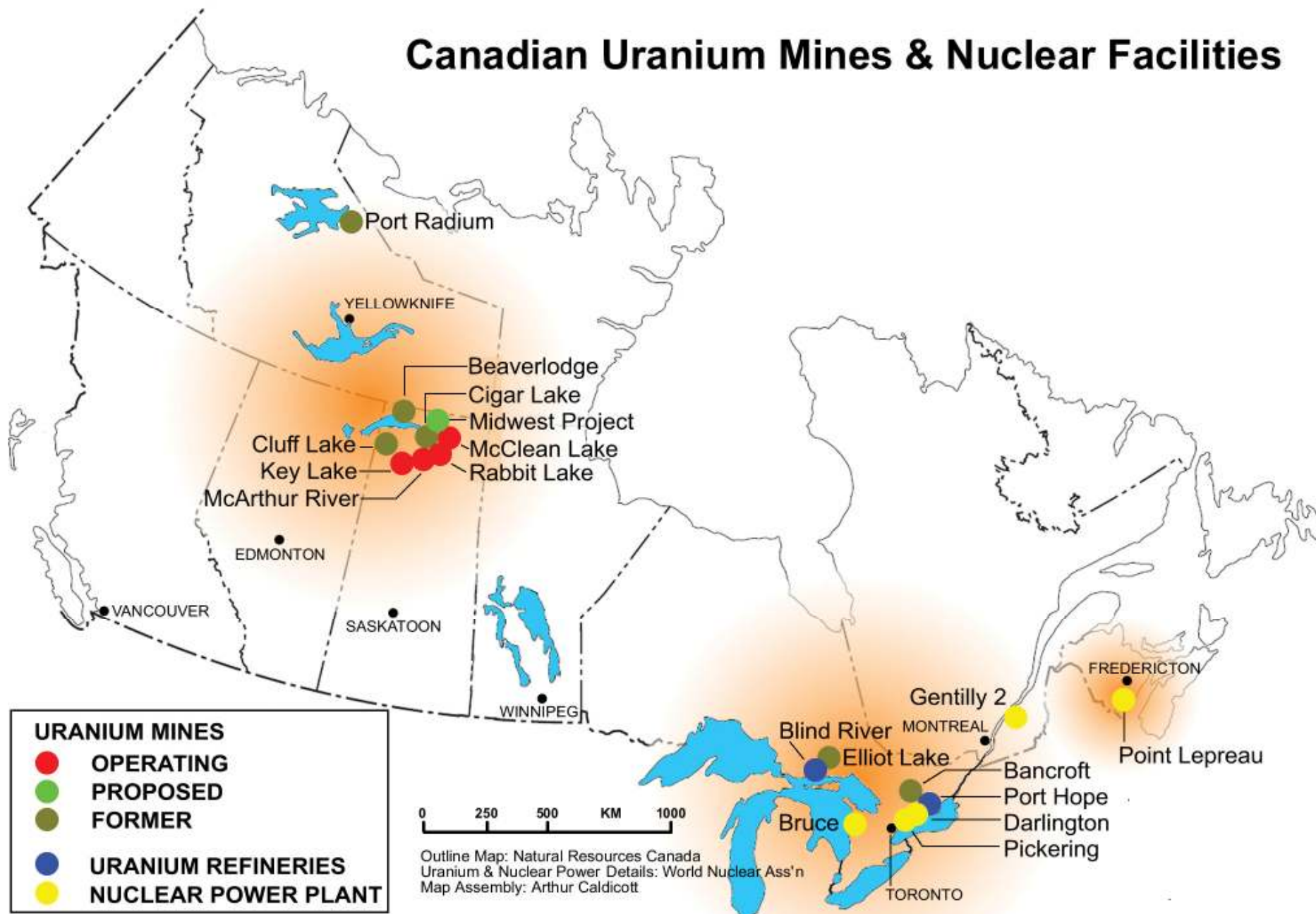


カナダにおける原子力発電

- 全原子力発電所はカナダで建設されたCANDU炉 (CANada Deuterium Uranium)を使用
- CANDU炉は、ウランを燃料として使用する加圧重水炉



Canadian Uranium Mines & Nuclear Facilities



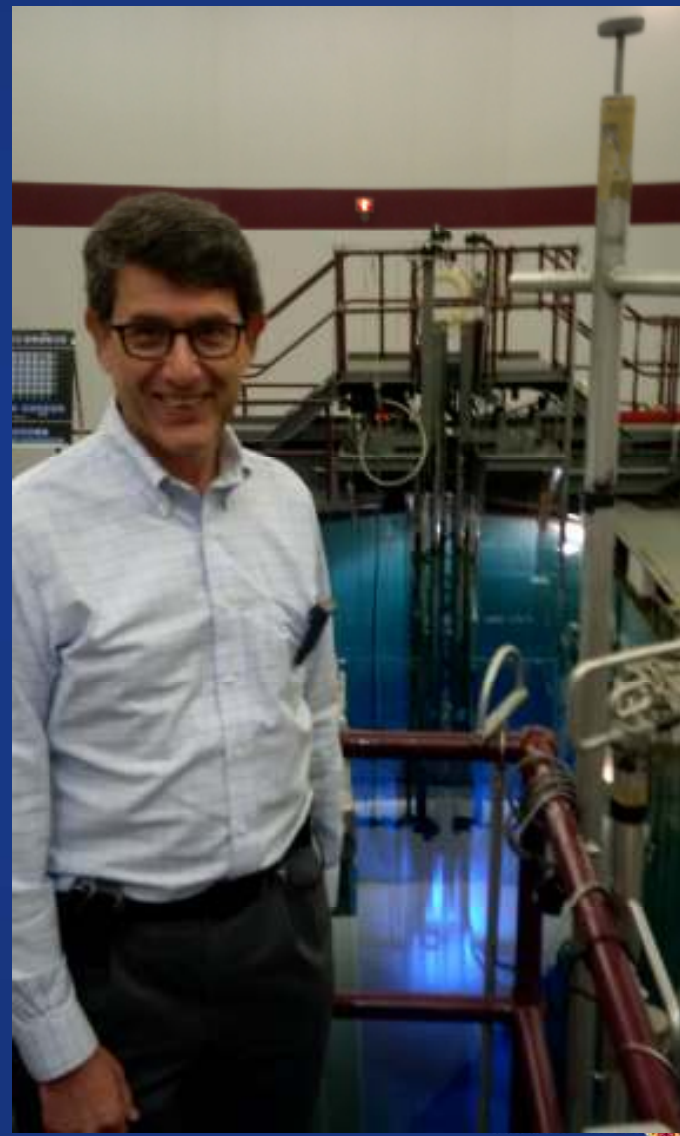
カナダにおける研究および医学核施設

- 主要な3原子力研究施設:
 - チョーク・リバーに2カ所
 - マックマスター大学に1カ所 (マックマスター原子炉、1959) 3MWで機能
- 他大学に小規模20 kWの SLOWPOKE-2炉 (エドモントン、サスカトーン、キングストン、モントリオール)



カナダにおける研究および医学核施設

- Medium flux MTR原子炉、最大出力5MWでカナダの大学では最も強力な研究用原子炉
- 燃料: ウラン
- 脱イオン化軽水
- ヨウ素125の最大の供給源のひとつ
- 研究および産業的利用



カナダにおける研究および医学核施設 ： チョーク・リバー

- カナダ原子力公社 (AECL)の**チョーク・リバー**研究所は、カナダの科学およびテクノロジーの基盤の中で、最大の単一複合体であり、NRU炉 (the National Research Universal) や他の多数の施設、研究所など、いくつかの核施設が含まれている。
産業、安全、保安、健康、環境およびクリーン・エネルギーテクノロジーのための革新

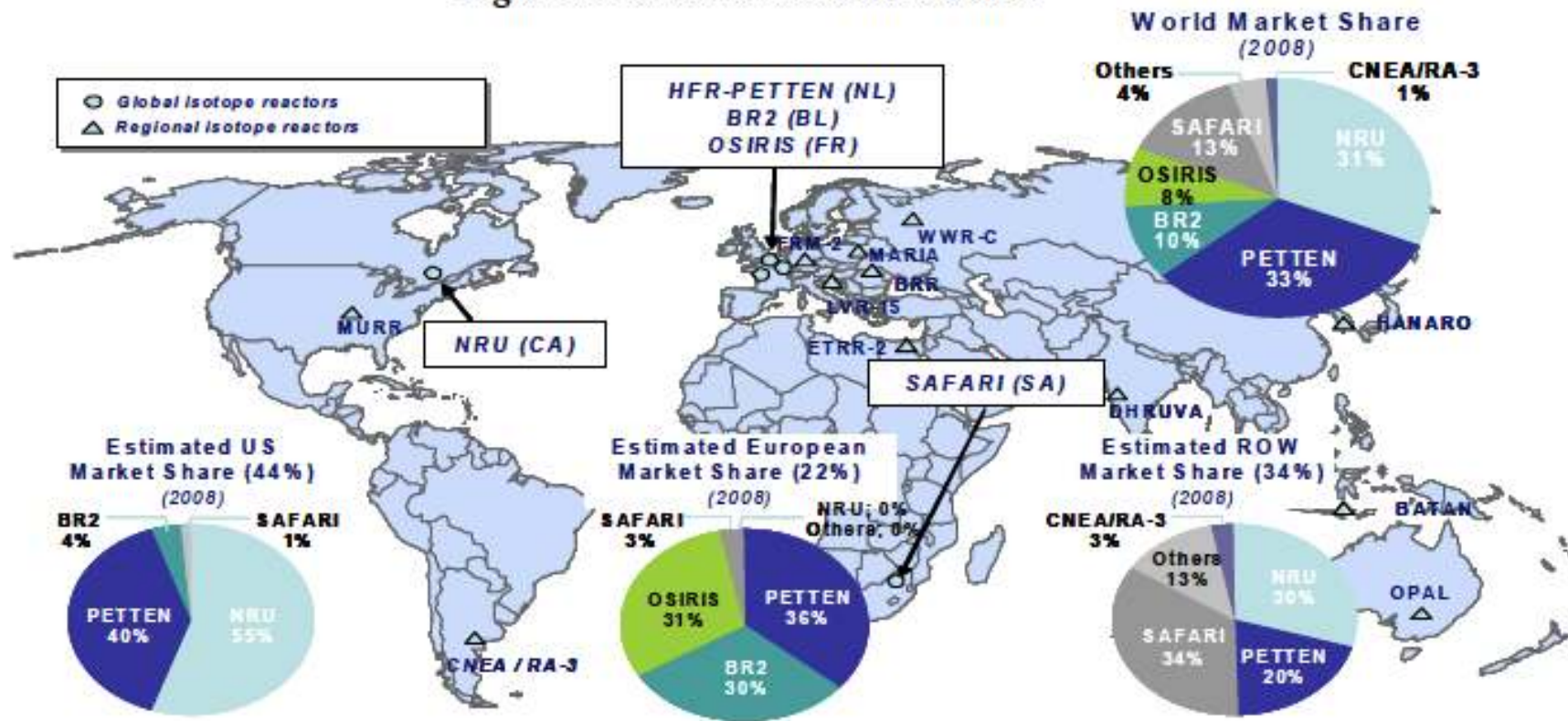


カナダにおける研究および医学核施設 ： チョーク・リバー

- **モリブデン-99**: 脳、甲状腺、上皮小体、心臓、肺、肝臓、腎臓、脾臓および骨髄の医学的診断(画像)に使用される。
- **ヨウ素-131**: 主に画像診断や、治療に使用されるアイソトープ。
- **ヨウ素-125**: 前立腺がんの治療(brachytherapy)、in-vitroでの診断キット(ラジオイムノアッセイ)、骨密度測定、たんぱくのヨウ素標識に使用される。
- **キセノン-133**: 医学的診断、特に肺の精査に使用される。
- **高比放射能 (SA) コバルト-60**: Nickel-plated cobalt-59 pellets がNRUにて2~4年間照射され、高比放射能Co-60となり、主に癌治療に使用される。
- **イリジウム-192**: 強力な線源として、X線撮影や溶接部検査などの産業分野で使用される。

世界各国における医療用アイソトープの産生

Figure 1: 2008 Global Market Shares



Note: Market shares do not include the impact of the 2008 HFR-Petten shutdown

法律および規制機関

カナダ原子力安全委員会(CNSC)

- 原子力安全管理法(NSCA)のもとで2000年に設立され、カナダ原子力安全委員会(CNSC)が核エネルギーの使用および健康や安全、保安、環境を守るための物質を規制し、カナダの国際委員会(Canada's international commitments)が核エネルギーの平和的使用を実施、そして客観的な科学的、技術的、そして規制された情報を国民に提供する。
- カナダ原子力安全委員会(CNSC)の構成は、カナダの核産業の規制を管理する議会により成立した法律から成り立っている。
- カナダ原子力安全委員会(CNSC)は、規則の制定やライセンス、文書の発行を行う。

カナダ原子力安全委員会(CNSC)

- カナダ原子力発電所(CNSC)は、福島原発事故以降、カナダのいくつかの原子力産業における改善対策を担ってきている。



教訓： 福島事故後の改善

どのような改善を実施したか？

- CNSCは、カナダが最悪の事態に備えた状態であることを確実にするため、4年の行動計画を組み立ててきた。
- 福島と同様に複数の事故を考慮するため、オペレーターは過酷事故管理ガイドライン (SAMGs)の再確認を行った。
- 操作員は、緊急時対応施設に、ポータブルの予備電力と通信機器を備えていることを確認。
- 操作員は、確実に原子炉が水で満たされ冷却されるように、現場および離れた場所に設置されたポータブル機器の使用を習得しなければならない。
- オンタリオに地域の緊急管理施設を建設。

教訓： 福島事故後の改善

放射線レベルをモニターできるか？

- CNSCは、各施設の周囲における放射線レベルのリアルタイム・データを提供するために、さらなる放射線モニタリングステーションを設置するよう原子力発電所操作員に要請した。
- 原子力緊急事態の際には、連邦政府が追加的な放射線モニタリング機器を設置する。
- 原子力発電所操作員は放出された放射性物質の拡散を予測するために、既存のモデリング能力を向上させる必要がある。

教訓： 福島事故後の改善

- 私達は、これらの改善が非常事態に役立つか知っているか？
- 原子力発電所の操作員たちは、過去の事例をもとに最悪の事態を想定して、**防災訓練**を行ってきた。
 - 訓練により、操作員は**修正されたSAMGsを確認**し、新しく導入された設備・機器をテストすることができた。
 - **大規模訓練**は、オンタリオとニューブランズウィックにおいて、それぞれの政府対応レベルを確認するために行われてきた。
 - 主要な放射線事故に備えた**危機ウェブサイト**を準備。

教訓： 福島事故後の改善

規則や基準は変わったか？

- 原子力発電所の操作員は CNSCのオフサイト緊急時計画に従わなければならない。
- CNSCは、**オンサイトおよびオフサイト原子力緊急管理および備え**における**基準**確立している。

緊急事態管理法（連邦政府）

Emergency Management Act

- 緊急事態管理法(2007)は、全ての利害関係者がカナダの緊急事態管理システムで担う必要がある役割を認めている。リーダーシップの役割および、**公安と緊急準備担当大臣**の責務を提示しており、それには政府機関および他の州や自治体との協力による緊急管理活動の調整が組み込まれている。他の連邦政府大臣の責務もまた提示されている。

緊急事態管理および国民保護法 (EMCPA)

- オンタリオにおける緊急事態管理の法的基盤は、緊急事態管理および国民保護法(2009)である。
- 州が核施設非常事態に対する緊急計画を立てることについて、EMCPAの8節に明記されている。
- この計画の目的は、原子力発電所が位置する地域の市民の健康、安全および福祉の保全であり、核非常事態への対応や回復に備えた有効な緊急事態管理システムの制定している。
- オンタリオではProvincial Nuclear Emergency Response Plan (PNERP)を制定している。

Canadian Guidelines for Intervention During a Nuclear Emergency

November 2003



カナダ保健省

- この文献は、カナダ保健省のガイドラインであり、カナダでの核非常事態、または影響を受けるカナダ人に対する介入について、記載してある。

カナダ保健省

- 非常事態時に市民を保護するための対応策は、介入レベル (ILs)として知られる量的基準に基づいている。

Health Canada Recommended Intervention Levels

Countermeasure	Intervention Level (averted dose)
Sheltering	5 mSv in 1 day
Evacuation	50 mSv in 7 days
Relocation	50 mSv in 1 year (return when <50 mSv in a year and < 10 mSv in 1 month)
Stable Iodine Prophylaxis	100 mSv to thyroid
Food Controls ¹	1 mSv from each of 3 food groups

消費者・臨床放射線保護局

- 消費者・臨床放射線保護局はカナダ保健省の部局で、イオン化および非イオン化放射線照射装置のための、安全問題を扱う *Radiation Emitting Devices Act* (放射線照射デバイス法) の管理 に対し責任がある。
- 消費者・臨床放射線保護局は、イオン化および非イオン化放射線に関連した健康および安全のリスクについて管理、モニターし 評価を行う。
- METERを管理および提供し、病院と医学界が放射線緊急事態 に備えるためのトレーニング一括法案である。

ヨードカリウム(KI) のガイドライン

- 主要な核施設のPrimary Zoneの範囲内に限定される。
- 施設外の放射線事故は対象としない。
- ヨードカリウム(KI)は、経口摂取ではなく吸入による放射性ヨウ素の内部被爆に対してのみ使用される。
- 保健省(MOH)が地域の医療職員と共に、いつKIを投与するか決定する。
- オンタリオでは、予防的なKIの配布は行わない。
- 核施設が責任を持ってKIを供給する。
- 指定自治体は、KIを容易に入手できるようにする責任がある。

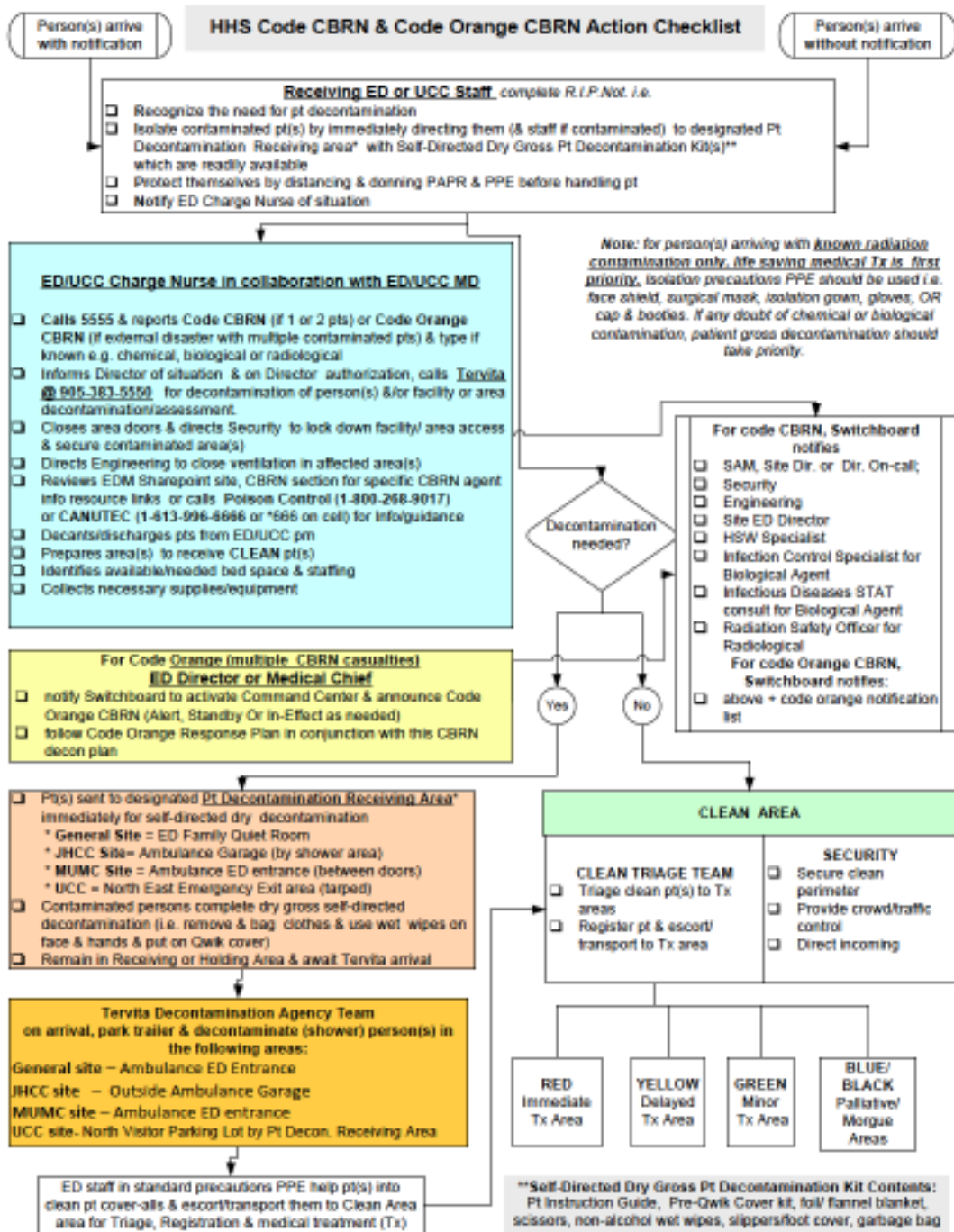
そして、カナダでの医療における備えは？

カナダにおける医療の備え

- カナダ全土の病院では、原子力非常事態に備えた計画が準備されている必要がある。
- 各部署に責任が分担される必要がある。
 - 放射線安全行政官 (RSO)
 - シニアマネージメント
 - サポートサービス
- 手順の開発
- 事故管理システムの導入
- 教育およびトレーニング
- 定期的に訓練や演習を行う。

事故管理システム Incident Management System

- オンタリオの全ての病院はIMSを採用することになっている。
- 緊急事態を管理するための組織体制
- コマンドセンター: 共通のポイント
 - 情報収集
 - 意思決定
 - 内部活動の方向性
 - 外部組織との連携
- コミュニケーションの改善
- 役割の明確化
- 柔軟に即時対応



Tervita Decontamination Agency Team on arrival, park trailer & decontaminate (shower) person(s) in the following areas:

General site – Ambulance ED Entrance

JHCC site – Outside Ambulance Garage

MUMC site – Ambulance ED entrance

UCC site – North Visitor Parking Lot by Pt Decon. Receiving Area

RED
Immediate Tx Area

YELLOW
Delayed Tx Area

GREEN
Minor Tx Area

BLUE/BLACK
Palliative/ Morgue Areas

ED staff in standard precautions PPE help pt(s) into clean pt cover-alls & escort/transport them to Clean Area area for Triage, Registration & medical treatment (Tx)

**Self-Directed Dry Gross Pt Decontamination Kit Contents: Pt Instruction Guide, Pre-Qwik Cover kit, foil/ fannel blanket, scissors, non-alcohol wet wipes, slippers/foot cover, garbage bag

ハミルトン健康科学における コード・オレンジ CBRN アルゴリズム

病院治療アルゴリズム

Medical Stability	Step 1	Stabilize life threatening injuries and ensure appropriate PPE and contamination control procedures	
Contamination	Step 2	Determine if externally contaminated	
		2a) If YES: Proceed to controlled area and remove clothing, assess and survey, provide medical treatment and collect samples for radiological analysis (<i>proceed to 3</i>).	2b) If NO: Admit to the regular emergency department to assess for possible radiation exposure or internal contamination (<i>proceed to 4</i>).
	Step 3	Identify decontamination priority, collect samples, decontaminate, and resurvey	
Assessing Exposure	Step 4	Assess for signs of acute radiation syndrome (ARS)	
		4a) If YES: Repeat samples for radiological analysis (<i>proceed to 5</i>).	4b) If NO: Transfer or discharge, observe for symptoms within next 24 hours.
	Step 5	Assess for significant absolute lymphocyte decrease or other medical issues	
		5a) If YES: Proceed to Step 6.	5b) If NO: Discharge. Consider medical or radiological follow-up.
Step 6	Follow-up evaluations at health care facilities with expertise in the medical management of patients with radiation exposure. (Consult MOHLTC for contact information of appropriate health care facilities).		

PPE = Protective Personal Equipment

CBRN 事故対応計画

- 職員への放射線による潜在的な危険性を減らすために、ALARAの4原則に従う:
 - **時間**: 放射線源からの被爆時間を最小限にする。
 - **距離**: 放射線源からの距離を最大限にする。
 - **遮蔽**: 可能な限り十分な遮蔽やバリアを設置する。
 - **除去**: 汚染源を除去または狭い空間に封じ込める。

CBRN 事故対応計画

- 汚染と被爆を区別する:
 - 直接の被爆は、身体を放射性にすることはなく、また個人の電離放射線被爆は他人へ影響しない。
 - 放射性物質による汚染は、適切に除去されるまで残るが、ALARAの原則を実践し、適切な防護服を着用する医療従事者は、被ばくや汚染の可能性を最小限に抑えることができる。

急性放射線症候群(ARS)

Syndrome	Dose (Sv)	Symptoms
Hematopoietic	1 to 10	<ul style="list-style-type: none">- Anorexia, fever, malaise- Blood cell count decrease- Infection and hemorrhage = primary cause of death
Gastrointestinal	10 to 20	<ul style="list-style-type: none">- Severe diarrhea, fever, dehydration- Imbalance in electrolytes- Infection, dehydration = primary causes of death
Cardiovascular/CNS	> 20	<ul style="list-style-type: none">- Extreme nervousness, confusion- Severe nausea, vomiting, watery diarrhea- Convulsions, coma

急性放射線症候群(ARS)

Onset of vomiting post irradiation	Dose (Gy)
No vomiting	<1
2-3 (hours)	1-2
1-2 (hours)	2-4
<1 (hours)	4-6
10-30 (min)	6-8
<10 (min)	>8

CBRNにおける教育およびトレーニング

放射線被爆に対する緊急治療(METER)

Medical
Emergency
Treatment for
Exposures to
Radiation

- カナダ保健省は、放射線緊急事態に備えて、病院や医学界を支援するため、連携組織と共にトレーニングパッケージを開発した。
- このパッケージは、トレーニング講習の実施に興味のある医学界に無料で提供される。

放射線被爆に対する緊急治療(METER)

- METERコースは放射線事故による死傷者に即時反応し、安全に作業して管理することができるように医学界のスタッフを訓練するために開発された。教材は、国内外で適用されているbest practicesが組み込まれている。
- このコースは二つの主要分野に焦点をあてる。
 - 放射線と汚染に関する必須知識、および放射線の存在下での健康と安全を確保するための実践的な方法
 - 生物学的な影響、兆候、症状に対する知識、および放射線被爆による負傷者を医療スタッフが効率的に管理するための治療体制に対する知識

放射線被爆に対する緊急治療(METER)

コースは以下の通り:

- 汚染メーターを使用し、汚染された負傷者の検査をする方法
- 治療中のチームの安全を維持するための知識
- 衣類の除去から創傷部の汚染除去に至る、簡易的で効果的な除染技術
- 負傷者の治療と同時に、汚染の拡大を最小限にする救急部門を設置するための実践的な方法
- 被爆により治療を要する負傷者の兆候および症状、Radiation Casualty Assessment Toolなどを用いて負傷者を迅速に評価し治療の優先順位をつける方法

放射線被爆に対する緊急治療(METER)

以下が対象となる:

- 第一受付者:
 - 救急治療室の医師
 - トリアージを行う看護師
 - 救急治療室の看護師
 - 放射線安全管理者
 - 核医学専門スタッフ
- 危機管理コーディネーター、プランナーおよびトレーナー
- 第一対応者:
 - 救急救命士 (救急車)
 - 消防 (HAZMAT: 化学機動隊)
 - 警察官

放射線被爆に対する緊急治療(METER)

- コースの内容:
 - 電離放射線の基本的な理論
 - 放射線被爆による放射線生物学的および健康への潜在的影響
 - 医療対応を必要とする可能性のある、放射線または原子力事故のタイプ
 - 内部汚染および急性放射線症候群の管理
 - Radiation Casualty Assessment Tool (RCAT)の使用
 - 放射線防護計測機器

しかし、実際に役に立つか？

救急医療サービス従事者のためのCBRN防災訓練

マックマスター大学の研究者達は、オンタリオ州とBC州において、病院および救急医療サービスのためのCBRN防災訓練について評価を行っている。(Kollek, Welsford and Wanger)

- カナダの主な救急部門は災害対策を備えているが、それらは古く、まれにしか再評価されることもなく、さらに実践的なテストもほとんど行われていない(7%未満)。
- 30%の救急部門のみが、除染領域を有している。
- 救急医療サービス従事者の30%は汚染領域での作業について、理論的または実践的なトレーニングを受けていない。
- 個人防護服着用時の医療ケアに関しては、訓練を受けているのは30%未満である。
- 放射線の検出に関しては、31%がトレーニングを受けている。

* Chemical, biological, radiological and nuclear preparedness training for emergency medical services providers – D. Kollek, MD; M. Welsford, MD; K. Wanger, MDCM - CJEM 2009;11(4):337-42

救急医療サービス従事者のためのCBRN防災訓練

- 連邦レベルでは、1954年以降、Canadian Emergency Management CollegeがCBRN防災訓練を行ってきた。しかし、政府が2012年に終了させた。
- カナダは、放射線非常事態の備えに関して、正式なガイドラインおよび国の基準を欠いている。
- METERは、現在も必要に応じてカナダ保健省により提供されている。
- 人々を困惑する放射線および健康リスクについての多くの誤解
- 訓練されていない医療従事者が、汚染現場で対応する際、知識や訓練の欠如が患者やEMS、病院スタッフ、健康管理システムの安全を脅かすことになる。

まとめ

- 防災、教育および、訓練が原子力または放射線災害時の重要な鍵となる。
- 多くのEMSおよび医療従事者は、汚染された環境を確認し、作業するようには訓練されていない。
- 知識や実践的な訓練の欠如は、患者と医療従事者の安全を脅かす。
- 教育および訓練は、個々に地方が主導権を持って行うのではなく、政府によって義務化して行う必要がある。