

# 東日本大震災と原発事故

JSA 東日本大震災問題特別研究委員会報告

( 1 )



日本科学者会議

## まえがき

本報告書は、2013年5月26日のJSA第44回全国定期大会に提出されたものである。2011年5月29日の第42回大会で東日本大震災問題特別研究委員会の設置が決定された。以後この2年間の研究を委員以外の会員の研究をも包含して報告書としてまとめた。

中心テーマは地震・津波・原発災害の複合的な事象の調査分析と日本社会再建の在り方である。研究においてはJSAに相応しく、総合性と日本国憲法の基軸である平和的生存権保障の視点が重視された。

「3.11」の2年3カ月後の現在、事態は依然としてその広がりや深さが確定できないほど甚大である。政府の「収束宣言」は事態の過小評価であり棄民政策宣言であると言わざるを得ない。

しかし、この間の市民運動と独立系科学者の尽力は原子力規制委員会の新安全性基準やドイツをはじめ各国の脱原発政策に影響を与えた。無論「新安全性基準」は再稼働のための選別基準と言えるほどの不備を持っているのであるから、残された課題も大きい。これは重要な論点である。

本報告書で明らかにした主要な諸点は次のとおりである。

第一に、原発災害の直接的要因を地震動としそれに連動した巨大津波を重視している。国会事故調査以外の各種調査報告書は津波説を採っている。事故原因の確定には今後の事実認定を待たねばならないが、「規制基準」に直結するし、損害賠償責任に関わる重要な論点であり続けている。

第二に、原子力利益共同体（いわゆる原子カムラ）について日本のみでなく国際的な構造的関連を説いている。

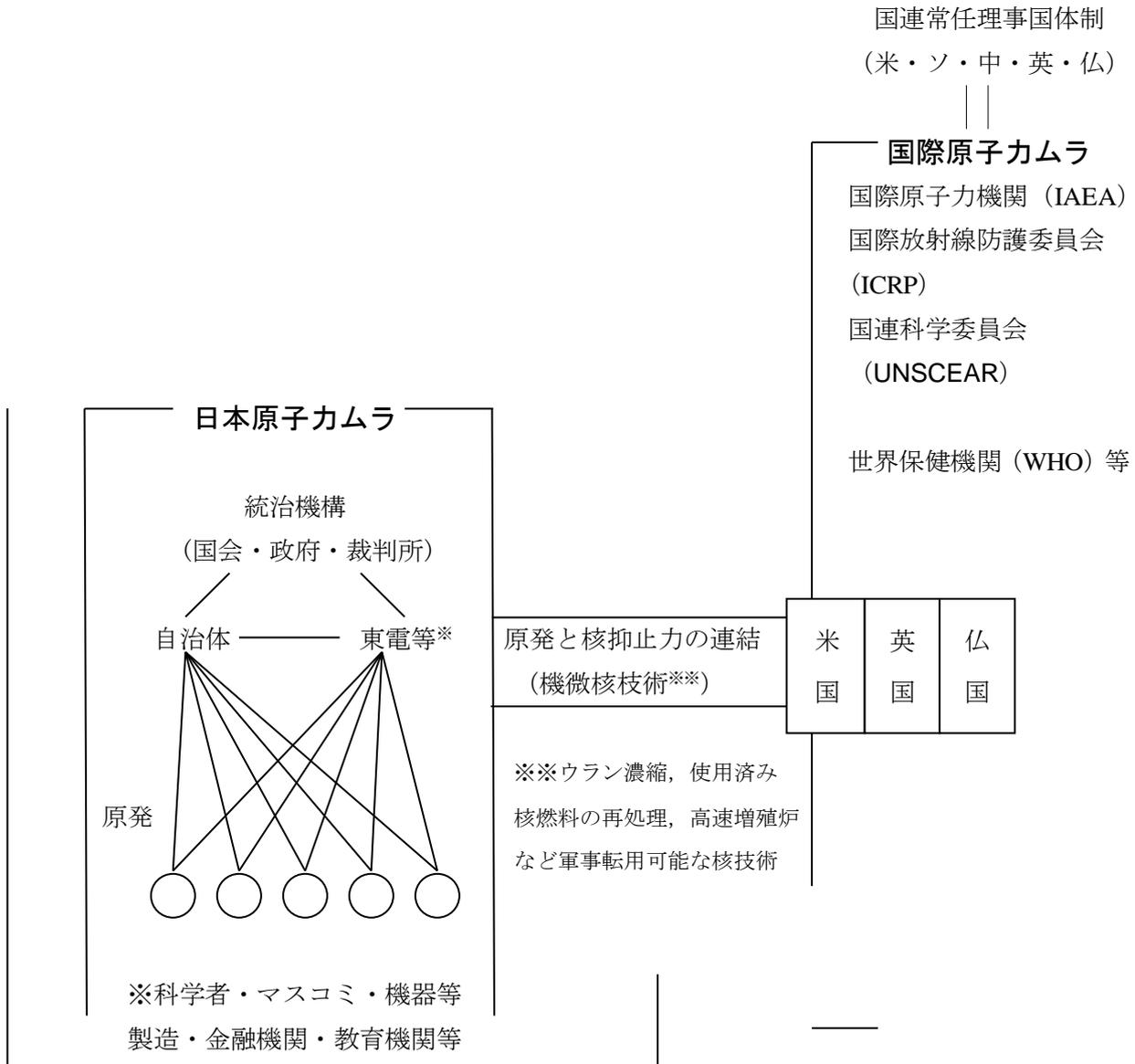
特に国際的関連は歴史的にも内部被曝問題を抱え、原子力の「平和利用」と軍事利用の表裏一体性を明示するだけに、核廃絶・脱原発・護憲の国内外での運動上の位置づけに係る論点として大きく浮上している。

第三に、復旧・復興において地域の生業、とりわけ農林漁業の被災者に寄り添う施策が大企業優遇の施策との対抗として強調されている。それは財政的措置については言うまでもなく、エネルギー政策の転換を基調とする自治体や地域の金融機関等、諸産業との連携による「原状回復・地域再建」の論点である。この点では特に被災地の復興支援センターとの協同が重要であり、国民運動においてはソーシャル・ネットワークの役割が大きい。

本報告はしかし、総合性という点では不十分さを残している。総合性は依然として重視すべきであるが、総合化は上から行うべきものではない。個別研究が個別研究に留まらずにその中から総合性に向かう芽をどれだけ意識的に育むか。この点を踏まえ、大会の承認を得て特別研究委員会を個別課題の研究委員会に再編することとした。一定の段階で総合化を図りたい。

JSA 東日本大震災問題特別研究委員会 伊藤宏之

## 原子力利益共同体（原子カムラ）関係図



【参考】2011年3月時点での  
各国原発保有数

米 104, 仏 58, 日 54, 中 32, 韓 21  
印 20, 英 19, カ 18, 独 17, ウ 15,  
中 13, ス 10, スペイン 8, ベル 7,  
台 6,  
建設中: 中 10, 印 27  
建設予定: 印 58, 中 57, 米 32,  
中 24, 日 1

日本国（国家共同体）

注記・核不拡散条約の破綻:

イスラエル, インド, パキスタン, 北朝鮮

# 東日本大震災と原発事故

## JSA 東日本大震災問題特別研究委員会報告 (1) 目次

まえがき	伊藤宏之	01
原子力利益共同体（原子カムラ）関係図		02
目次		03
1. 津波と津波災害—東日本大震災津波災害の教訓を中心に	志岐常正	04
はじめに		04
1 東日本大震災の「想定外」問題		05
2 津波と津波災害—津波とはどんなものか		08
3 津波災害の多様性—場所の特徴による津波災害の違い		11
4 東日本大震災の教訓と今後の津波防災		12
5 被災地の今後の防災的地域計画		14
6 日本の今後の津波対策と防災問題		16
おわりに		17
2. 原発事故およびその拡大の分析		
(1) 福島第一原発事故への地震動の影響	岡本良治	20
1 なぜ直接的原因を問題にするのか		20
2 発端は地震動による外部電源の喪失		20
3 地震後、早期に放射性キセノンの放出		20
4 非常用電源喪失時刻と津波到達時刻		21
5 1号機への影響		23
6 2号機への影響		24
7 3号機への影響		25
8 4号機への影響		26
おわりに		26
(2) 放射線による人体影響—低線量被曝・内部被曝を中心に	沢田昭二	29
はじめに		29
1 米国の原発被害隠蔽政策と放射線防護の国際体制		29
2 ABCC—放射線影響研究所の問題点		30
3 DS86の原発残留放射線の線量評価		31
4 放射線降下物による被曝影響		32
5 内部被曝と低線量被曝による晩発性障害		36
おわりに		36

# 津波と津波災害

## —東日本大震災津波災害の教訓を中心に

志岐 常正

### はじめに

東日本大震災の発生以来、地震や津波とそれらによる被害について、数多の問題が論議されてきた。そのあまりの多さと複雑さとは、一般の読者だけでなく、被災現地の復興問題に取り組んでいる多くの科学者を戸惑わせている。

日本科学者会議は、『地震と津波 —メカニズムと備え』を編集、発行した<sup>1)</sup>。多くの人びとの疑問や要求に応える時宜を得た仕事である。また易しく書く努力がなされている。諸学会や科学雑誌社などの努力も目覚ましい<sup>2)</sup>。津波被害に関しては、被災各地を総まくりにした分厚い調査報告書<sup>3)</sup>もすでに出版されている。

一方、より一般的に、津波とその被害についての解説は、かなり古くから教科書や辞典に記されており、近年には詳しい単行本も出されている<sup>4)</sup>。

そこで、今さら、津波と津波被害について概説程度のことを書く意味はないかも知れない。しかし、これらの著述や報告は、易しく書く努力がなされたものでも、やはりかなりの理学的知識を前提としていたり、内容が多岐にわたって分厚かったり、問題の要点を掴み難い面があると思われる。これらのことが本稿執筆を必要とする理由である。

しかし、津波関係に限ってさえも、記すべきことは多くかつ複雑であり、限られた誌面で多くの問題を紹介、検討することはできない。

ところで、論議の的にされたにもかかわらず、現在も決着を見ていない問題が存在する。また盲点となり重要であるにもかかわらずほとんど論議されていない問題もある。本稿では、被災のメカニズムの検証や今後の津波対策に資するという視点から、これらの問題のいくつかに絞って紹介し、筆者の見解を述べることにする。

その理解のために必要と思われる解説を前に付け、後の章では、日本で今後起こるかもしれない大災害とその対策の問題の2～3についても、簡単に触れたい。

いずれの問題も内容的には、筆者だけの独自の見解が少なくないが、その根拠をここで個別に述べるのは紙数の関係で無理である。中でも原発事故に関する問題は、日本だけでなく世界の社会構造の根本に関わるが、残念ながら今回は論述をほとんど省略する。別の機会を得たいと考える。

## 1 東日本大震災の「想定外」問題

### (1) 「想定外」とは

いわゆる“想定外”問題には、地震、津波、原発事故の三つがある。そのうち原発事故に関して当事者が発した“想定外”という無責任な言葉が一般に強い印象を与え、今、一種の流行語として便利に使われている。

ちなみに、工学技術者が“想定”というとき、その言葉には、専門用語としてのニュアンスがこめられている。たとえば河川“管理”者が河川の洪水対策として堤防建設を計画するときには、降雨や洪水流量などのパターンを想定する。そうしないと計算ができないからである。

その想定をはずれる場合の流況制御は、計算しないだけでなく、地域のあり方に関する権限外の問題もからむので、管理者としては必ずしも責任を持ってない。原発事故に関して、工学技術者たちが使った想定外という言葉には、同様なセンスが含まれていたに違いない。

しかし、一般の人びとには“人知を超える”という意味にとらせたかったのではないかと<sup>5)</sup>、疑問に思われる。

どちらにせよ、福島第一原発事故に関しては、地震も津波も当然想定されていなければならなかった。会社幹部にとって本当に想定外であったとすれば、それはそれで、法的にも責任重大ではないだろうか。

### (2) 地震 — 地殻変動予測の失敗因

東北日本太平洋沖で大きな（マグニチュード7程度の）地震が起こる確率が非常に高いことは、前々から地震専門家により警告されていた。しかし、その規模が超巨大でありうることや、それによる超巨大津波の発生しうることを地震研究者が想定していなかったことが、津波被害拡大に繋がったことは否定できない。

これに関しては、専門研究者たちは深刻な反省をしている。たとえば、プレート境界の“アスペリテイ”（固着域）<sup>6)</sup>に関して、海溝近くにそれがあることを気づかなかつたとか、チリ沖と異なり太平洋プレートの沈み込み角度が大きいから超巨大な地震は起こらないと信じていたのが間違いであったとか、いろいろな指摘や議論がなされている<sup>7)</sup>。

しかし、筆者には、もう少し違った基本的な問題があるように見える。それは、実体概念としての“アスペリテイ”の地質学的実態が未だ未解明であるのに、地震発生の本質論に進み過ぎていたのではないかという疑念である。“アスペリテイ”は概念としては妥当であろう。しかし、地質構造断面図上に具体的に示してほしい。

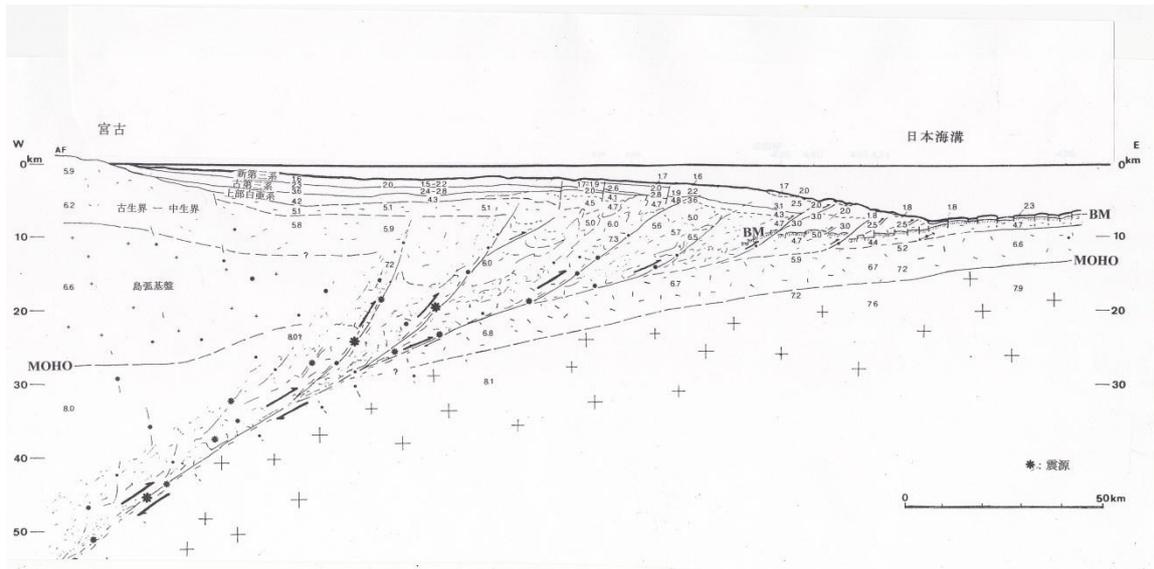


図1 東北日本宮古沖の総合地質断面

陸側プレートと太平洋プレートとの境界の深部の深さ 20~40km付近、すなわち巨大地震の震源となる位置の断層(太線)は推定。しかし、海洋リソスフェア (lithosphere: 岩石圏) 上面の深・浅両側からの延長を、断面図中の縦横比を場所により任意に変えることなく繋げば、自然にこういう図になる。この図に、上部地殻や附加体中の地震震源断層(近年の専門研究者のいう“分岐断層”, 中村一明のプレート力学境界)を書き入れることを、各研究者にお願いしたい。

東北地方沖の大陸斜面下の海底地質構造は、1970年代末には、特定断面についてはあるが、かなり詳しく明らかにされていた(図1)。しかし、それらが地震発生の物理的機構の解明・検証によく生かされているかは疑問である。

実は、地震の震源となる場には、ボーリングはもちろん、海底地震計やエアガンによる探査が及ばない深さを含むために、地震面のつなぎ方と海底地質との関係は推測の域を出ていない。このことが、海溝型地震の専門家の中で問題とされたことを聞かない。

なお、西南日本沖の南海トラフ沿いでは、近年、各種の調査・研究が著しく発展している。

一方、現在陸上で見られる数千万年前の地質については、プレート沈み込み境界の、深い、まさに起震の場所での摩擦発熱による熔融で生じた特殊な岩石(シュードタキラト)その他が見いだされている<sup>9)</sup>。

さらに、現在のこのような地下深部地震発生帯の岩石(その上部だが)を採取すべく、深海掘削船「ちきゅう」を用いた「統合型国際海洋掘削プロジェクト」が紀州沖で進行しつつある。この成果が、今後、南海トラフはもちろん、東北沖の地震発生場“アスペリテイ”の実態把握にも生かされることが期待される。

### (3) 超巨大津波の想定

東北太平洋岸には、およそ 1000 年まえに貞観地震と呼ばれる超巨大な津波が押し寄せたこと、さらに、その前を見ると、数 100 年からおよそ 1000 年に 1 度、超巨大な津波が襲来していることは、堆積地質学的調査研究によって、つとに明らかにされていた。

また、このことは、政府の委員会（総合資源エネルギー調査会原子力安全委員会）でも報告されていたが、そこでもまた、地方行政や電力会社によっても真剣に取りあげられなかった。

この経過は今では広く知られているので、ここでは繰り返して記述しない。

当然ながら、超巨大津波があったということは、それを起こした超巨大地震があったということでもある。地球科学の内部の少し専門が違うだけの地震の専門家が、地質学サイドからのこの証言の意味に、なぜ関心を寄せなかったかはあまり問題にされていないが、真剣に検討されるべきテーマではないだろうか。

### (4) 津波襲来の周期性と今後の想定

今後の防災にも関係して、津波襲来を想定する際に問題になる津波の周期性について、少し切り口を変えて検討する。

2011 年の巨大津波体験のショックから、また防災のためには最悪のケースを想定すべきであるとの考えから（それ自体は正しいが）、今すぐにも 2011 年 3 月 11 日の超巨大津波（以下、3.11 津波と略す）と同規模の津波に対する備えを完成させなければならないと考える人は少なくないと思われる。

また、理科的知識を持ち、地震の発生には確率論的性格があることを知る人の多くにも、発生予想が何%などと報じられることを数学的な分布確率としてだけ受け取って、確率が非常に小さくともゼロではないのだから、明日にでも 3.11 津波のような超巨大津波が同じ場所（波源）で起こることがあり得ると理解するむきが少ない。これは発生場所に関する限り、誤解である。つまり、地震を発生する地殻変動が物理的事象であることを忘れている。

ストレスが蓄積して、限界に達して地殻（地盤）が破断して起こるのが地震である。一度破断した場所は、ずれ動きやすくなっているため、少しストレスがかかってもずれうるが、逆に大きい揺れ（地震動）<sup>9)</sup> を起こすようなストレスが短期間に蓄積するようにはならない。ここにストレスが蓄積し、津波を造るような地震が発生するまでには一定の期間を必要とする。要するに同一場所（アスペリティ）が地震の震源となるには周期性がある。

したがって、地震だけでなく、それによって起こる津波（以下、地震性津波という）の発生にも周期性がある。例えば陸前高田に 3.11 津波を襲来させたような津波が、同

じ場所を波源として次に起こるまでには、一定の年月が必要である。被災地の復興や地域計画を考えるうえで、地震性津波の周期性を検証・想定することは、決して非科学的ではない。

なお、世界各地の例を見ると、同一海溝沿いでも 500km 以内の場所を震源とする超巨大地震が近い将来に起こる可能性は小さくない<sup>10)</sup>。こう言うと、一見、上の記述と矛盾するように見えるかも知れないがそうではない。具体的には4章で記す。

ともかく、津波は、ある特定の場所に、異なった場所を占める津波源から襲来する。したがって、地震発生や津波発生との周期性と、それらによる被災の確率周期とは違う。ある特定の場所に来る津波は、規則的な周期性をもつとは言えない。なお、海底地震があっても、そのメカニズムによっては、津波が発生するとは限らない。また、津波が発生して海岸に到着しても、被害を生ずる規模になることは多くはない。

## 2 津波と津波災害

### —津波とはどんなものか

津波は、A 突発的な地殻変動（多くは地震動をとまなう）による海底の動き、B 海中で（または海中へ）の斜面崩壊や土石流の流入、C 同じく火山の爆発や溶岩流の流入、D 隕石の落下、E 核爆発、などにより起こる海水の運動である。以下、Aにより起こる津波を地震性津波と呼ぶ。

日本で昔は、気象学的要因などによる高潮が区別されずに津波と呼ばれた場合があると思われるが、今ではこれは津波の定義から除外される。なお、tsunami は今、国際学術語である。

地震性津波に限ってみても津波は多様であり、津波と津波災害についての説明は難しい。専門家に、津波を“見渡す限りの海面が盛り上がり岸に向かってくる高潮のようなものと捉えたほうが良い”と説明されたり、“波というより速い流れに近い”と解説されたりすると、一般の人は、戸惑うだろう。

これらの解説は実はどちらも間違っていない。しかし、これらはそれぞれある場合の津波の性質をそれぞれ簡明に述べているのであって、全的な解説ではない。実際のところ、ある一つの津波について見てさえも、その姿は時系列的に変化し、また、場所により多様である。

本稿の後半のこの点についての理解を良くするために、やや詳しく解説する。

ここで、津波を記載する際の諸量の定義に触れておく。津波の波としての振幅、津波高(水面標高)、陸上津波高(個別地点での地表からの高さ=浸水高)、遡上高、打ち上げ高、痕跡最高水位、などはそれぞれ違う(図2)。従来の諸報告、諸論文では、これらが必ずしもきちんと区別して使われてはいない。

津波は長波であると、多くの教科書に記してある。これは浅海でなく沖の海洋(海溝

斜面～大陸斜面)で起こる津波(上記A)の話であり, その他の津波は必ずしも長波ではない。

長波は次の式で表される。(特性上は, 極浅水波と言っても同じである)

$$C = \sqrt{gH}$$

ここに, C : 波速 (m/sec) g : 重力加速度 (m/sec<sup>2</sup>) H : 水深 (m).

この式で見ると, 長波である深い海での津波の波速は水深だけで決まる。チリ沖で発した津波は, 太平洋の深海をジェット機なみの早さで渡り, 24 時間で日本海岸に達する。

和歌山県沖で起こった津波は, わずか数分で陸地を襲う。水の粒子の動く速度はきわめて遅い。また, 海水面付近から海底近くまでほとんど同じ速度で, 長い周期で, 水平的に往復運動をする(図 2 & 3)。

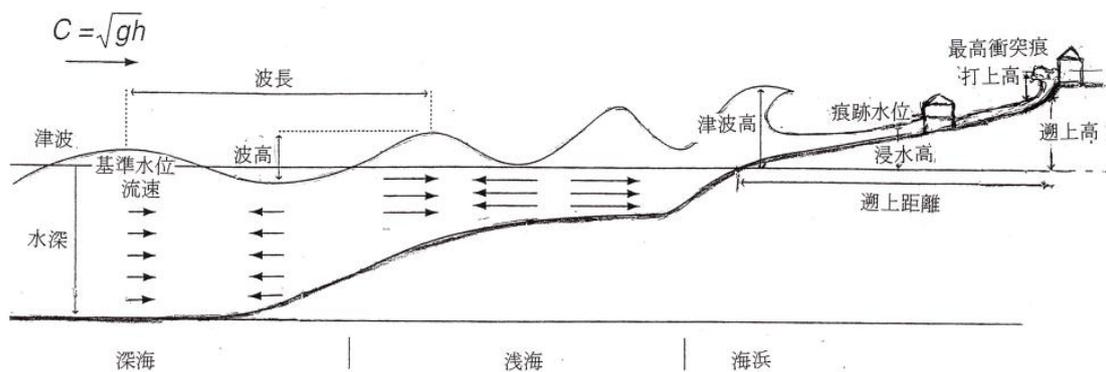


図 2 津波の記載に関する諸定義

Sugawara, D., et al., 2008<sup>11)</sup>の模式図を元に一部改変。縮尺は部分により不統一。

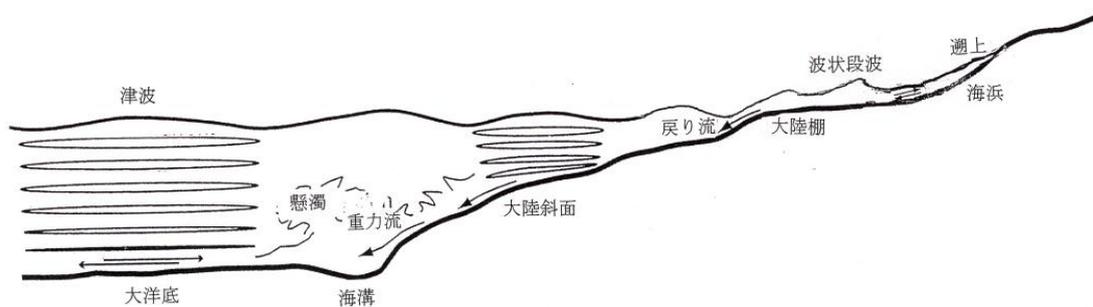


図 3 深海から海岸, 遡上限界までの津波の性状, 水の特徴的動きや作用の違いを示す模式図。(Shiki, T., et al., に基づき一部簡単化)

射流と常流の区別は表現できていない。

これらは風による普通の波とはまったく違う, 長波としての津波の特質である(高潮や潮汐波ではもっと著しい)。

陸に近づくと、水深が浅くなるにつれて津波の速度は落ち、流速は速くなる。波の形状も変わり、多くの場合、先頭近くにとくに高いピークが現れ、その後に、数個のピークを持つ波が続くようになる（図 2）。先頭ピークの前面傾斜が急になり、段状になる（段波あるいはサージと呼ばれる）。さらに砕けて“砕波”（とくに“砕け寄せ波”）となることも多い。段波は、物に衝突するさいの破壊力が大きい。

津波が防波堤や堤防<sup>13)</sup>などの障害物を乗り越える際にはエネルギーを若干失うものの水面が上がる<sup>14)</sup>。

陸上に遡上すると津波の波としての性質は目立たなくなり、基本的に流れと見なしでよいものになる（以下、“遡上流”と呼ぶ）。堤防（防潮堤を含む）を乗り越えた津波は、落下のエネルギーを得て、流速が波速より大きい（洗掘・破壊力が大きい）射流と呼ばれる流れとなるのが普通である。その後の遡上流は常流と呼ばれる流速のほうが小さい流れとなる。ただし、変わるさいにわずかながら水位が上がる。

遡上の終わりの時点、引き波に転ずる頃には、傾斜が小さい平野での水の動きは非常に遅く、浸水しても破壊力が比較的小さい。ところが、引き波は流れとしての性質が強い（以下“引き流れ”または“戻り流れ”と呼ぶ）。この流れは水底（地表面）の傾斜によりエネルギーを得るため、流下につれて速度を増す。

とくに低い場所に集中すれば、大きな運搬力、破壊力を示し、時に、すでに寄せ波の段波、砕波の衝突や射流による洗掘で痛めつけられている防潮堤をブロック化して海側に運搬しさえもする。

海に戻った引き流れの、陸上や湾内など海底から砂泥や瓦礫を取り込んで密度を増した部分は海底を流下し、場合によっては海溝底にまで達する。一方、低密度の部分は海中に、水塊としては厚く広く、雲状に拡散する<sup>15)</sup>。

以上は、地震性津波一般に共通する記述であるが、さらに、3. 11 津波に特徴的であったことの 2、3に触れるとしよう。

津波が引き波から始まるか、寄せ波から始まるかは場所により違う。これには、地殻変動（地震の発生）で地盤が上がったところと沈下したところとの沖合および海岸や陸上での分布の違いが関係していると思われる。この関係には場所による一定の傾向があるらしいが、上下変動地域の分布位置や広さが津波ごとに同じではないので、次の津波でどの程度どうなるかは細かくは言えない。

いずれにせよ、津波は、海岸には普通は数波押し寄せる。3.11 津波の第 1 波の寄せ波では、その先端より遅れて、とくに高い山が陸に襲来したところが多い。津波は波であるから、これは当然かも知れないが、都司（2011）が指摘しているように、2011 東北地方太平洋沖地震に際しては、東北沖震源域の特定の一部でとくに、こぶ状に基盤が隆起し、そこから特別に高い津波の山が発生したことが関係しているかも知れない<sup>16)</sup>。

一方、津波は、第1波のピークがもっとも高いというわけでは必ずしもない。第1波と第2波の間は、普通10分から数10分程度であるが、3.11津波の場合、陸前高田では、第1波より高い、見かけ上の第2波と目される波が、第1波より4時間も遅く来た。

津波（流）は、陸上に遡上しても、元の波の性格をすべて失うわけではなく、水面の上下動が波動をなして移動する。水（粒子）の運動の早さ（流速）、浸水の先端が遡上する早さ、水面の上下動の山が遡上する早さ、細かく言えば水面の逆勾配が遡上する早さは、それぞれ別である。

このことが知られていないと、3.11津波被災の例のように、市街地に流入した津波の流れが道路を流れるのをビルの上からみているうちに、水位の高い山がやってきて生命を失うという悲劇が起こる。

3.11津波では、残念ながら、懸命の海底捜索にも関わらず人の遺骸が見いだされていない例が少なくない。上述<sup>16)</sup>の土砂を含む密度の高い流れに取り込まれて運搬され、埋積されている可能性が考えられる。

### 3 津波災害の多様性

#### —場所の特徴による津波災害の違い

上記に見るように、津波の性状は伝搬中の海底地形や海岸、陸上の地形によって強く規制される。同一波源から発した津波でも、海岸や陸域に達するときには、場所によって性質を異にする。波であるから重ね合わせや反射、回折もする。そのために、津波被災の状況も場所により大きく違う。

次に、3.11津波災害の若干の例を挙げて、その状況を記述する。

発達した波状段波の襲来によって大きな被害を受けた典型的例として、陸前高田市の場合がある<sup>17)</sup>。この中心市街を奥に持つ広田湾は平面形が長矩形に近く、開口方向が津波の入射方向に近い。そのため津波は、エネルギー損失を大きくこうむることなく湾奥に達した<sup>18)</sup>。

また、大陸斜面と広田湾内での海底の傾斜が大きく、かつ水深減少が継続的であることが、段波の発生、発達をうながしたものと思われる。この段波の衝突、乗り越えによって、またここから、より低い裏側（陸側）の後背湿地や湖沼に流れ下って生じた射流によって、砂丘や堤防、松林が広く削られ、掘削され、消失した<sup>19)</sup>。

川を遡った津波は、その途中の一部で川の堤防を越え、流域の沖積地の農地や宅地に侵入した。同様の状況は、宮古市の田老地区その他各地でも認められた。

津波の第1波の波状段波と、それに続く第2、第3波などは、陸前高田では“寄せては返す波”と感じられたらしい。

一方、この地元が“第2波”と捉えている波は、一度大きく水が引いてから、およ

そ4時間後に押し寄せた。この波の浸水深は“第1波”より大きかったが、段波でなく高潮に似ていた。この間の引き波の間も陸域での浸水は続いて停滞していた。おそらく地盤沈下が影響していると思われる。

陸前高田と対症的なのは、すぐ隣の気仙沼市の場合である。気仙沼湾では、段波や砕波は湾口やそれより外海で発生したらしく、湾内では波の寄せ引きにつれて、水がゆっくりと往復した。湾底が湾口から浅く平坦だからであろう。

この流れによって舟とともに往復し、たまたま岸边に近づいたときに陸に飛び移ることができた人の例が報道された。このような流れは、大きなエネルギーはもっていても破壊力は相対的に小さい。気仙沼海岸での漁業施設（とくに埠頭と魚市場）が、被災はしたものの復旧が早くはじめられたのは、そのための大きい。ここでの復旧の一番の課題は沈下した地盤の嵩上げであった<sup>19)</sup>。

仙台平野では、砕波は海岸に達してから起こったらしい。報道写真に見る沖合での水の蒼さと水面の平坦さは印象的である。堤防を越えた津波は、強い射流をなした。このことは、水底での、堆積地質学的にアンチデューン（反砂堆）と呼ばれる堆積構造の形成を示す特徴的な波（しかも波長数10mと大きい）が毎日新聞社の航空写真に写っていることで明白となった。この一帯の住宅は、この流れでコンクリート床を残して壊滅した。

水面が上下するだけで段波や射流、引き流れの集中などが無い場合には、水塊全体のエネルギーは巨大でも、必ずしも構造物の大きな破壊をもたらさない。

その典型例は、宮古市の河口近くの市街地に見られる。ここでは厚さわずか10cmあまりの防潮壁が、津波に乗り越えられたにも関わらず無傷であった<sup>20)</sup>。津波の遡上流の向きが防潮壁に平行であったことが大きく関係したに違いないが、ここでも当日の写真に見る水の色が注目される。おそらく、段波は発生しなかったのであろう。

津波の回折による遡上高の増大に関しては、例えば気仙沼湾湾口部の岬の上への津波の集中と、それによる丘陵地（段丘）杉の下地区の被災の例がよく報告されている<sup>20)</sup>

## 4 東日本大震災の教訓と今後の津波防災

先に（2011）筆者は、今後の津波防災と地域復旧・復興に関する諸問題を列挙し、検討した<sup>21)</sup>。『日本の科学者』の読者で、これを目にした人は少ないと思われるので、ここでも論述するほうがよいかも知れない。しかし、紙数の関係もあり、従来盲点となって触れられていないか、軽視、あるいは誤解されている問題の2~3例に限って簡単に結論的な見解だけを述べることにする。

### (1) 今後、東北地方沿岸に襲来しうる津波

第1章で述べたとおり、3.11巨大津波を発生させた地盤変動域の海岸のかなりの範

囲に関しては、近い将来に同じ規模の巨大な津波が襲来することは考え難い。

しかし、日本海溝沿いでも、東北地方の青森県から岩手県の三陸海岸北部の沖や、関東地方の千葉県沖(2011 東北地方沖地震の震源から 200~400 km)の地盤は、2011 東北地方沖地震の際の変動に参加していないので、これらの地域で発生した変動で巨大津波が起こり、今回の被災地を襲うことは大いにあり得る。その規模は、大部分の地域については、波源からの距離その他の点で、3.11 津波(2011 津波とも呼ぶ)より小さいと考えてよいが、田老町を含む宮古市周辺より北(とくに久慈市より北)の地域は大いに警戒を要する。

一方、規模は 3.11 津波より小さいとしても、中小の津波は久慈市付近より南にも襲来する。その性格に関しては、上に記した自然条件的理由から、3.11 津波のそれを参考にしてよい。

例えば、陸前高田の広田湾奥に襲来する大きな津波は段波である可能性が大きい。この点で、今後建設される防潮堤は、堅牢である必要があるのはもちろんだが、幅(奥行き)を大にするのがよいと考えられる。

その背後の低地の湖沼や水路も、津波の射流の勢いをそぐのに有効である。松林も育てるべきである。その他、要するに、従来の陸前高田でとられてきた方策は、ハードの面に関する限り間違っていない。1000 年に 1 度の超巨大津波に対しては規模が不十分であっただけである。問題はそれに気づかなかったソフト面にあったといえる。

これに対して、気仙沼市の場合では、3.11 津波では段波や砕波による被害があまりなかったものの、船舶はそもそも浮くようにできているので、津波の水面上昇によって持ち上げられ、海岸から数 100 m の内陸まで運ばれて、各所で建物の壁にぶつかってこれに穴をあけた。今後の津波にたいしても同様のことが起こりうる。いち早く船舶を湾外に出せば、気仙沼の被害は今回ほど破壊的にならず、主に浸水被害ですむ可能性が高い。

## (2) 社会の構造的変化と津波災害の盲点

災害の発生機構は社会とともに変化する。その例として LNG ガス輸入のリスクを挙げる。

津波の襲来はしばしば火災をともしなう。このことは奥尻地震津波災害以来、よく知られていたが、その教訓は東北地方での津波対策には生かされなかった。

船舶が凶器になったのは、今回の気仙沼市などの場合に限らない。ただ衝突してものを破壊するだけでなく、火を発生してそれを陸上に運べば、建築物に火をつけて回りもする。気仙沼市の火災の場合は、船舶が段波で岸壁に打ち付けられたのではなく、浮かび運ばれて直接に石油タンクにぶつかって石油を流出させ、発火させたのではないかと思われるが、筆者はこれをまだ確認してはいない。

近年、石油に代わる燃料資源として、LNG ガスなどの輸入が急増している。これは液体の石油より引火しやすいから、当然にいろいろの対策が講じられているはずだが、ここで盲点となっているのが、停泊中のタンカーのマンパワー（要員の数と待機状態）である。要するに、津波警報がでて、その襲来までに船を出航させて沖合に出すのに必要な要員は、停泊中の大型船にはいない。

筆者は、この問題を和歌山港の LNG ガスタンカーのリスクについて指摘し<sup>22)</sup>、その後、機会あるごとに発言してきたが、東日本大災害に際しても、津波警報後に各種の比較的大型の船を沖合に出せた例は少ないらしいので心配である。法的措置を含め、今後、なんらかの対策樹立が望まれる。ともあれ、LNG 基地とそれに繋がる港は、巨大津波襲来可能性が大きい場所においてはならない。

## 5 被災地の今後の防災的地域計画

上記で見たとおり、海岸や陸地を襲う津波の性質は個々の津波によって異なるし、同一津波でも場所ごとに異なる。一方、これまでは述べなかったが、実は、地形・地質条件の違いは、それぞれの場所での居住や生業などの、日常的土地利用や産業構造をも強く規制している。この二つの絡み合いで、被災の様相が、津波ごと、場所ごとに異なる。

このことから、第1に留意、強調されねばならないのは、復旧と今後の津波対策、住まいや生業施設の立地や設計の防災計画には、上記のような、それぞれの地域の自然条件と社会の特徴が十分に配慮されねばならないことである<sup>23)</sup>。それには、地元の被災者や住民の経験が十分に生かされ、地域の主である住民自身の考えで、地域計画がなされる必要がある。

“創造的復興”というかけ声が行政や政界からかけられているが、現地の条件の多様性を無視した画一的復興計画、津波対策は、壮大であればあるほど画に描いた餅になりかねない。

第2に筆者が示唆したいのは、3.11 津波が示した特徴は、今後の津波でも、その規模による違いを別とすれば、大局的には同じであるとして、復旧や復興、地域計画を考えてよいことである。地形・地質条件は人が大規模に改変しない限り、時とともに変わるものではないからである。もちろん、津波の大きさや、局所による違いは科学的に予想する必要がある。現地調査が必須である。

大きく見れば、3.11 津波で被災した場所でも、今後のある期間に関していえば居住していけないとは限らない。以下、このことに関連する 2~3 の問題に限って触れる。

### (1) 高台移転、低地居住など、土地利用問題

三陸地方の津波被災と対策の歴史は、被災の後の集団的高台移転と、その後の低地

復帰，再度の被災の繰り返しであることは，これまでしばしば指摘され，よく知られている<sup>24)</sup>。

一方，室崎益輝（2011）は“高台移転は誤りだ”と書いた<sup>25)</sup>。これは問題の一面を意図的に強調したものであろうが，高台に移転すれば問題がすべて解決できるのではないことも事実である。

この問題にはいくつもの側面がある。

想定される最大のリスクに備えるのは，防災の基本である。しかし，その災害を防ぎきるのは，日本列島では不可能である。減災しかない。まず護るべきは生命である。この点で，高台移転は津波に対しては，もっとも安全な選択であるには違いない。

しかし，人には生活があり，生業がある。海から隔絶されては，漁業はなりたない。津波被害からは短時日では復旧できないとはいえ，365日の24時間，津波が来ないところだけで生活するわけにはいかない。上記の気仙沼の例で，被災の直後から海浜の魚市場の復旧がはじめられたのは，それなりの生活事情と，有利な条件がある。

一方，ここでは省略するが，高台の利用にもいろいろな条件がある。

ここで指摘したいのは，今回の津波に侵された低地でも居住と生業が可能な場所はあるという点である。沖積低地でも，浸水被害は受けても生命は守れる可能性が高い場所はある。すでに陸前高田の例で触れたように，遡上の限界付近では，また水が滞留するところでは，水の勢いは小さく，建造物は倒壊せず，床下浸水だけで済む場合がある。

もちろん，人はわずか深さ数10 cmの水中でも，流れがあれば自由に行動できず，命を失うから，高台や高い建物など，少しでも高いところに逃げるのが肝要である。それを前提にして，数10年間の土地利用を考えるということである。

ここで土地利用というとき，必ずしも居住を意味しない。植物栽培，飼育，養殖，場合により観光や工業なども含んだ利用が考えられるということである。年月の経過とともに，それを計画的に変えることもあってよい。例えば，塩分を含む土地にまず綿を栽培し，後に稲田に変えるという干拓が，九州の佐賀平野では何100年も行われてきた。上に触れた海岸砂丘背後の魚その他の養殖でも，種類を固定的に考えるべきではない。

筆者は，このような被災リスクと土地の有効利用について，“黒，灰，白の3ゾーン”の時系列的变化を考えることが有効であると提起したことがある<sup>26)</sup>。詳しくはそれを見てほしい。

## (2) 地盤沈下と復旧，土地利用問題

津波の陸上遡上高や侵入奥行き，その後の海水の滞留などが，地盤沈下にも大きく規制されることは，上記の気仙沼その他の例に見るとおりである。ここで復旧，復興

に関わって尋ねられるのが、この地盤沈下はいつまで続くのかの問題である。沈下した地盤は、はじめはある程度速く上昇するが、次第にその速度は遅くなる。大局的に言えば、遺憾ながら、元の高さに戻るときは、次の地震津波が起こるときである。地域の利用は、そのことをクールに認めたくえで計画される必要がある。

例えば、地盤沈下によって生まれた湖沼は、条件にもより、いわゆる瓦礫の処理のために使うことも考えられるだろうが、むしろ、無理に埋め立てるよりも漁労や観光などに積極的に利用する工夫がなされるのがよいのではないだろうか。

## 6 日本の今後の津波災害と防災問題

### (1) 日本は危機にある

例えば、大阪市の今の“ハード”の備えは、高潮対策には有効であっても、津波に対しては無効に等しい。津波は、すでに触れた宮古市の場合のように、防潮壁を破壊はしないだろうが、これを越えるだろうから、今のままでは、例えば地下街や地下鉄は地獄となるのは間違いない。

津波は川を遡上する。西南日本南海トラフ沿いで地震津波が複数連動して発生すれば、津波は大阪城の立つ上町台地の北を回り、河内平野に侵入する。

同様のことが濃尾平野その他の各地でも起こる。首都圏直下地震、富士山などの火山爆発が起こる可能性も小さくない。それにつれての原発災害もいつ起こるか、予断を許さない。それは、まさに日本経済破滅の契機となるに違いない。

自然の強大なエネルギー蓄積と開放は止めることができない。せめて、社会の災害素因形成の仕組みを根底から改めないと、日本は“破滅途上国”に転落するだろう。

### (2) 自然教育の重要性

遅きに失するとは言え、津波被害に備えるためには、津波や自然の営みについての知識が広く社会に共有されていることが必要である。3.11 巨大地震とそれによる津波災害は、それにはほど遠い現状を明らかにした。

3.11 大災害、とくに原発事故は、人びとが、これまでも抱いていた科学と科学者不信とを増大させた。

「原子カムラ」の事実隠蔽や秘匿、誤魔化しは、ある意味では論外だが、厳しく批判、追求されねばならないことはもちろんである。しかし、それに荷担する科学者の存在を許してきた科学界の実態解明の闘いも、求められていないだろうか。

一方、真面目な研究における問題点、とくに専門分化による盲点の存在が、津波規模の“想定外”の事態を招いたことについても、厳しい反省が必要であろう。それは自然科学者にとっての問題であるだけでなく、人文・社会科学(実学)の研究課題でもあるかも知れない。

これまでの災害でも指摘されてきたが、今回の大災害によって殊に痛感させられたのは、自然についての社会一般や学校教育の不足、欠陥問題であった。これについても、科学者にも大きな責任がある。

例えば、中等教育の数学の教科に確率があるものの、自然には本来、確率論的現象や、漸次的変化から突然の変化への転換点（閾値）が存在することが、生きた認識となるようには教えられていなかった。これでは、専門家による“地震が明日にも起こるかもしれない。（ただし、数10年先かも知れない）”という説明が、いい加減な話と受け取られても、それこそ不思議ではない。

さらに言えば、この数10年、科学研究の広い場で一般的となっている思考・検証方法、とくに、フローチャートの判定、検証には、問題がありうるのではないだろうか。例えば、活断層の検出・認定では、はじめに航空写真からリニアメント（地形的線状構造）が探される。これで見落とされたら最後、その後の作業では活断層の存在が見いだされることは事実上ほとんどない。

このような画一的な検証方法の氾濫こそ、兵庫県南部地震以後の被災地震を起こした活断層が、ほとんどすべて、その時点で多くの活断層図に載っていないかったり、超巨大津波波源の発生が想定されなかったりした大きな要因ではないだろうか。

しかも、とくに数量的扱いのための工学的要請から、できるだけ単純なモデルが好まれる。複雑系を扱っているという自戒のもとに、帰納と演繹を繰り返し、想定したモデルが単純に過ぎないかを警戒、検討することが必要ではないだろうか。

本稿ですでに記述した“想定外”盲点問題のほとんどが、先史考古学・地質学的長期や現在に関する人文・自然史認識、とくに地質学の軽視に関係する。日本社会全般における地質学の軽視は、これまでも多くの災害や環境破壊の拡大に繋がった。3.11津波の場合もそうであった。この反省と是正がなくては、今後も同じ過ちが繰り返されるに違いない。

## おわりに

次に巨大な地震津波に襲われるおそれが高いのは、東北日本太平洋岸では、三陸地方北部より北の岩手県、青森県海岸一帯である。それより南については、2011年3月11日の津波と同じ規模の超巨大津波は、当分は来ないとして、地域計画や生計、とくに漁業や農業、観光産業の復興を考えてよいだろう。

来襲する津波とそれによる災害には、地形など自然条件によって場所ごとの特性がある。それは、今回（2011, 3.11）のとは規模に違いはあっても、次の津波でも見られるに違いない。生きた自然では、まったく同じことは決して起こらないので、少数回の経験だけによる判断は危険だが、今回の場所による特性は、津波防災と今後の地域計画を考えるうえで、参考にしてよい。

ちなみに、まだ触れていなかったが、3.11 津波以前に作成されていたハザードマップは、むしろ今後の津波対策に有用である。もちろん、改良を重ねる必要は常にあるが、その際には、上記の諸事項について留意、参照されることを期待したい。

その際に留意すべきは、被害の出方が、土地利用や生活の仕方、広く言えば社会の文化や文明の変化に大きく左右されることである。地域ごとの自然条件に合うように発展を図ることが肝要である。とくに宮城県北部から岩手県の海岸については、これまで、三陸地海岸として一括して扱われることが多かったが、実は自然も社会も市町村ごとに違いがある。それをよく知る住民の意見に基づき、住民主体の計画が造られ、実施されることが求められる。

今後、おそらくそう遠からぬうちに、巨大自然災害は起こるにちがいない。日本は、“滅亡途上国”へ“沈没”の危機にある。それについても、地球科学、とくにこれまで社会で軽視されてきた地質学の普及が急がなければならない

## 注および引用文献

本稿を記すにあたり参考にした著作、文献、報道記事は、当然ながら数多いが、引用文献に挙げることは、誌面の都合上、最小限に止めざるを得ない。ただし、比較的知られていないと思われるものは、なるべく記すことにする。

- 1) 日本科学者会議編『地震と津波—メカニズムと備え』(本の泉社, 2012)
- 2) 多くの学会が、また日本学術会議が調査団を派遣し、そしてシンポジウムを開催して討論、検証してきた。出版物としては、たとえば、日本地理学会「緊急特集 東日本大震災」『地理』(2011年6月号)。日本地質学会「特集東北地方太平洋沖地震:統合的理解に向けて」『地質学雑誌』**118**, 5, 7, 9号(2012) 東京大学地震研究所「2011年3月東北地方太平洋沖地震特集」  
<http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/2011/04/inquiry/>, 国土問題研究会『国土問題』**73**(2012)
- 3) 原口強, 岩松あきら『東日本大震災津波詳細地図. 上巻, 青森・岩手・宮城』(古今書院, 2011).
- 4) たとえば, 荒巻まこと『海岸』(犀書房, 1970).  
都司嘉宣「津波」和達清夫監修『海洋大事典』(東京堂出版, 1987) pp.361-365, 首藤伸夫ほか(編)『津波の事典 (縮刷版)』(朝倉書店, 2011).  
Sugawara, D., Minoura, K., and Imamura, M., Tsunamis and tsunami sedimentology in Shiki, T., Tsuji, Y., Yamazaki, T., and Minoura, K., *Tsunamiites Features and implications* (Elsevier, 2008).
- 5) 鈴木康弘「東日本大震災における『想定外』問題について」『地震と津波—メカニズムと備え』 pp.107-112.
- 6) アスペリテイとは本来は断層面上の突起を意味した。突起があれば摩擦強度が大きく、強度が大きいと地震性すべりが大きいとの類推から、(i) 強度が大きな領域、(ii) 地震性すべりが大きい領域という意味で用いられるようになった。アスペリテイ周辺の非地震性すべりにより、アスペリテイに加わる応力が増加し、ついには地震発生に至るのが地震発生の基本的プロセスだと考えられた(飯尾能久・松沢暢「東北地方太平洋沖地震の発生過程:なぜM9が発生したのか?」前掲『地質学雑誌』**118**, 5, pp.248-277, 2012 参照)。
- 7) たとえば前掲『地震と津波—メカニズムと備え』にも、数章に「想定外」問題を含めつつ、東日本大震災を起こした超巨大地震と超巨大津波に関する諸問題の全貌が解説、論述されている。
- 8) シュードタキライトについては、橋本善孝「高知の附加体とメランジュについて—活動的な地球を手にとる—」鈴木堯士・吉倉紳一編『最新・高知の地質—大地が動く物語』(南の風社, pp.50-71 参照)。

- 9) いつの頃からか、地震学、地球物理学関係では、“地震”が断層の活動とそれにより起こる振動などの物理現象を含む意味で使われている。古来の、振動を意味する“地震”は、“地震動”と呼ばれる。どうかとは思いますが、小論でも、以下それに従う。なお、“断層の活動”（“活断層”も）という表現も全世界的に使われているが、運動（転位）するのは地殻（地盤）であり、断層はその境の亀裂である。ただし、地震動（振動）を発するところでもある。文字を読むだけでは誤解しがちな用語が、一般の人びとの活断層の意味や津波の発生機構の理解を妨げている（それだけでなく、何時の間にか、専門家の思考をも混乱させている）。同様の例は、他にもいくらかもある。
- 10) 500km 以内というスケールで見ると、数年という近い将来にM9クラスの超巨大地震が起こる可能性は小さくない（石渡 明，世界のM9地震と地質学の課題，『日本地質学会 News』15，pp.15-17，2012 参照）。
- 11) Sugawara, K., Minoura, K., and Imamura, F., Tsunamis and tsunami sedimentology, in Shiki, T., et al., (Ed.) 2008. 前掲4), Fig. 3.1.
- 12) Shiki, T. *et al.*: Characteristic features of tsunamiites, in Shiki, T., et al., (Ed.), 2008. 前掲4), Fig.18.1.
- 13) 防波堤:波のエネルギーを減殺するために海中に設ける一種の堤防。全体が常時海面下にあるもの(沈水堤)や天端など上部が時に海面上に出るものなどがある。防潮堤:高潮や津波に備えて海岸に設ける堤防。砂丘があれば、普通、その裏側(陸側)や上に設ける。厚さがごく薄いものは防潮壁という。堤防:海岸では防潮堤と同じ、またはその低いものなどを言うが、防波堤を含めた言葉として、もっと一般的な用語として使う場合もある。
- 14) 福島第一原発に襲来した津波の高さは、写真で見ると、ちょうど原発が位置する付近に限って両側の海岸より高かったらしい。ここでは原発の前面の海底に防波堤などの構造物が設置されていた。これを津波が超える際に、高さが増幅した可能性がある。このことは、箕浦(口述)によっても指摘されている。
- 15) Shiki, T. and M. B. Cita., Tsunami-related sedimentary properties of Mediterranean homogenities as an example of deep-sea tsunamiite. pp.203-216, Elsevier, 2008. 前掲4)
- 16) 都司嘉宣「連動型超巨大地震による津波」『地震と津波—メカニズムと備え』pp.113-135
- 17) 梅原孝「東日本大震災 陸前高田市の被害状況について」『国土問題』73, pp.22-29, 2012.
- 18) 池田碩「東北地方太平洋沖地震による被災地域の地形と自然環境—陸前高田周辺を中心に」『国土問題』73, pp.13-21, 2011.
- 19) 川辺孝幸・池田碩・橘 徹・鈴木寿志・三上禎次・開沼淳一・志岐常正「2011 東日本大震災津波災害調査報告」『月刊地球』35, pp.1-15. 2012
- 20) 池田 碩・開沼淳一・三上禎次・志岐常正・鈴木寿志・橘 徹「2011 年東北日本津波災害調査写真報告」『地球科学』65, pp.205-208, 2012.
- 21) 志岐常正「東日本大震災についての調査・検証課題と国土問題」, 『国土問題』, 73, pp.1-12, 2012.
- 22) 志岐常正「立地計画の安全性問題, 1-2 津波災害」. 国土問題 57「和歌山火力発電所計画」の問題点. 国土問題研究会, 1998. pp. 22-25 参照.
- 23) とくに都市の立体化に伴う新しいタイプの被害の出現が怖れられる(池田碩「東北地方太平洋沖地震による被災地域の地形と自然環境—陸前高田周辺を中心に」『国土問題』73, pp.13-21, 2012. 池田 碩「兵庫県南部(阪神淡路)大地震と東日本(太平洋岸)大地震の比較研究」. 奈良大学大学院研究年報, 17号, pp.17-33. 2012.).
- 24) 例えば、河田恵昭『津波災害—減災社会を築く』(岩波新書, 2010) 参照.
- 25) 室崎益輝「高台移転は誤りだ。本当に現場の視点に立った復興構想を」『世界』8, pp.55-66, 2011.
- 26) 志岐常正「雲仙火山活動災害の新段階」, 『国土問題 NOW』, 8, 1996. B 参照.

# 福島第一原発事故への地震動の影響

岡本 良治

## 1 なぜ直接的原因を問題にするのか

事故原因としては、背景となる根本的原因と引き金としての直接的原因に分けて考え、本稿では、直接的原因を議論する。事故の進展を決定的に悪化させた非常用交流電源の喪失の原因を、東京電力福島原子力発電所事故調査委員会（国会事故調）以外の報告書<sup>1)3)</sup>は、すべて津波による浸水が原因としている。しかし、福島第一原発事故の直接的原因は何かについて、地震動か津波か、または地震動および津波か、両者の役割の関連、違いを明らかにすることは重要である。

地震動の影響が重要であれば、運転中、停止中であれ、原発が廃炉にならない限り、原発耐震設計審査指針の抜本的な再検討と新指針の策定が不可避である。地震動による発電所施設内のインフラの破壊・損傷が事故対応を遅らせたが、本稿ではそれ以外について、発端、津波到達前後、その後の事態進展における地震動の影響を議論する。

## 2 発端は地震動による外部電源の喪失

2011.3.11,14:46に発生した地震動により、外部送電線を支える原発西側の鉄塔が倒壊して、1-4号機の外部電源が喪失した、5-6号機が受電していた夜の森線の鉄塔も倒壊して、外部電源が喪失した<sup>1)4)</sup>。関連して、3月11日14:47「スクラム（制御棒挿入による原子炉緊急停止）成功」という事実認識に対して、国会事故調は「スクラム後、約30秒後から約50秒間、より強い地震動が継続した」と警告している<sup>4)</sup>。

強い揺れの順番が逆であればどうなったか。東電も外部電源喪失の原因が地震動の長い継続時間にあったことを認めているが<sup>2)</sup>、建造物や機器に対してこうした長時間の揺れがどのような影響を与えるかは未解明の課題である。原発が廃止されない限り、この点についても改めて耐震設計の再検討が求められるべきである<sup>5)</sup>。

## 3 地震後、早期に放射性キセノンの放出

Stohlら国際共同研究グループの論文<sup>6)</sup>によれば、最初にキセノン133の放出が始まったのは最初のベント弁開放以前であり、原子炉構成要素に構造的損傷がおそらくあったことを示す有力な証拠がある。キセノン133の放出量はチェルノブイリ原発事故の2倍以上で、歴史上最多である。



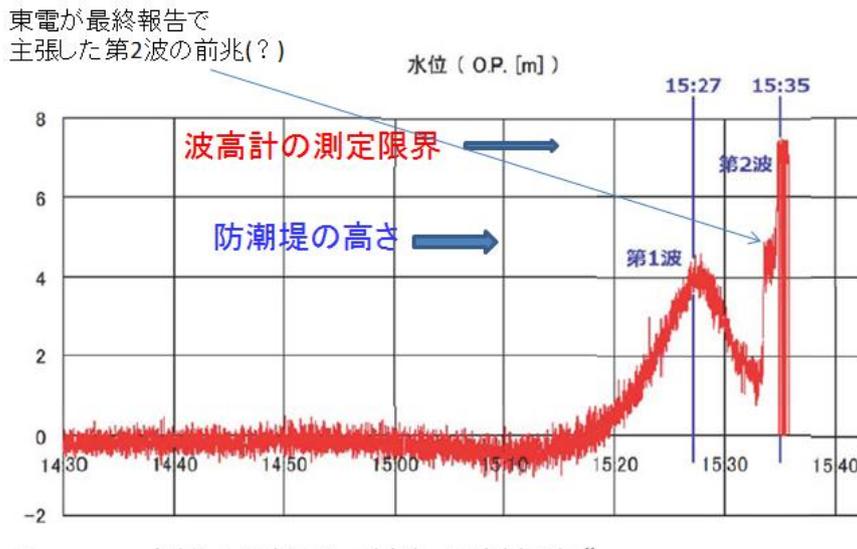


図2 波高の時間経過 (国会事故調報告書の図に加筆)

国会事故調報告書<sup>4)</sup>では、東電が公開した一連の写真の内蔵時計(15:41:25～15:42:21)が数分進んでいたが、撮影時間間隔は正しいと解釈している。撮影時間間隔が正しいことは筆者も異存はない。すると、津波が防波堤先端に到達後4号機海側エリアに着岸するまで56秒経過している。

しかし、(最初に到達した)4号機海側エリアに着岸後、タービン建屋(海側エリアから約150m)を進み、または東側から遅れて押し寄せた津波が南側から、4号機海側エリアに着岸した津波を追い抜いて進み、次いで建屋内に浸水して関連機器に達するまでには、さらに時間を要する<sup>4)</sup>。

さらに、波高計の測定限界は±7.5mであるから、第2波が超えた+7.5m付近、およびより高い波高の記録は信頼性が低いと思われる。

東電は、2011年5月段階では、原子炉への津波到達時刻を15:42としていたが、最終報告<sup>2)</sup>では、第2波の急な立ち上がりとその前駆的な15:33ころの急な水位上昇を強調しているように、微妙に主張を修正している<sup>4)</sup>。しかし、同じページに引用された、記録された津波波形も2～3分の幅を示しているように、第2波の波高変化は不連続的(パルスの)ではなく、実在波の一般的挙動から有限の時間を経過して最高波高に達すると想定するべきである<sup>10)</sup>。

この分析は、第一原発の津波の高さは断層活動で生じた6種類の津波の頂点が重なったためであるという東電の8月8日公表の解析でも、合成された波の半値幅は2～3分となっていることと整合的である<sup>11)</sup>。

図2のグラフの特徴から、第2波のピークが波の立ち上がりから2～3分遅れると見なせば、海側エリアへの到着は午後3時40分前後になる。この推理が正しければ、

東電が公開した一連の写真の内蔵時計の遅れがあったとしても無視できる程度であったこととなる。津波原因説を採っている文献<sup>12)</sup>においては、津波第2波が最初に到達したと思われる4号機に津波が到達した写真の時刻は、東電発表のとおり15:42以後としている。

以上の分析に関連して、津波第2波の写真撮影者情報の提供を東電が頑なに拒否していること、東電の津波再現計算の入力パラメータは非常用電源喪失が津波によることを説明するのに都合のよい方向に修正されたこと<sup>4)</sup>は、東電にとっては津波原因説が急所的位置づけであることを示唆する。

## (2) 国会事故調の分析

国会事故調の主張のうち、詳細に引用する価値があると思われる内容について以下にまとめる。①1号機A系はタービン建屋1階地下に設置されているが、他のディーゼル発電機と異なり、建屋外につながる給排気口が開口していないので、津波浸水はかなり後になるはずであるから、その停止原因は津波ではあり得ないこと。②1号機B系、2号機A系、3号機A系B系、については津波到達後に停止したかどうかは微妙なタイミングである。③5、6号機については運転員の認識が正しければ、津波以外の原因によることになる。ただし津波第1波が防波堤北側を回り込んで浸水して6号機の4m盤に浸水した可能性はある<sup>4)</sup>。

それでは、いったん起動した非常用電源が、地震により関連機器に異常が起こり、その後、故障停止したのはなぜか？ 国会事故調報告書は、非常用ディーゼル発電機の冷却水配管系統や燃料供給配管系統の損傷が時間の経過とともに、加熱や燃料切れにより停止する場合、地震による変形や機器、部品の移動による軸受け等のずれを生じて、運転継続中に加熱、焼き付け等を起こす可能性を指摘している<sup>4)</sup>。

## 5 1号機への影響

### (1) 格納容器の圧力上昇の原因

1号機について田中三彦氏<sup>13-15)</sup>は地震動により、格納容器内で、圧力容器につながる複数の小口径配管の破損または破断が発生した可能性を、格納容器の圧力上昇の時間的経過の分析から推定した。これについては筆者も以前紹介したので<sup>16)</sup>、ここでは議論しない。

大規模の冷却水喪失がなかったことはほぼ明らかである。しかし、政府事故調最終報告書も「小規模の冷却水喪失があり、徐々に拡大した可能性」は、以下のように、認めている<sup>1)</sup>。「地震発生後、津波到達までの間、格納容器又はその周辺部に、閉じ込め機能を喪失するような損傷に至らないような軽微な亀裂、ひび割れ等が生じた可能性まで否定するわけではない。また、仮にこのような軽微な損傷が生じたと仮定して、

その後高温、高圧状態下にさらされるなどして当該損傷が拡大し、結果として閉じ込め機能を喪失するに至ったかどうかは不明である」。

## (2) 1号機の非常用復水器系配管の解析

地震動により1号機の非常用復水器系配管が破損した可能性があることを裏づける解析が原子力安全基盤機構により公開された。2011年12月9日の保安院主催の技術的知見に関する意見聴取会に提出された資料、福島第一原子力発電所1号機非常用復水器(IC)作動時の原子炉挙動解析では、「漏えい面積0.3平方センチメートル以下の場合、原子炉圧力、原子炉水位の解析結果と実機データとに有意な差はない」とされている。

0.3平方センチメートルの小さな穴でも初期の漏洩流量は1時間に7.2トンとなる。そして、保安院(当時)が2011年12月19日の市民団体との交渉で、以上の論理を認めた<sup>17-19)</sup>。また、これらの解析は気体分子運動論を用いた簡単な分析とも矛盾しない<sup>20)</sup>。

## 6 2号機への影響

### (1) 地震動に起因する水力学的荷重

福島第一原発のようなMark I型の圧力抑制室の健全性については1974年くらいから疑問が出されていた。福島第二原発の原子炉設計の経験もある渡辺敦雄氏は、冷却水喪失の際の高温蒸気などによる動的加重と地震動(との共振)による、圧力抑制室に貯留された水の水面揺動(スロッシング)による衝撃が重なった可能性<sup>21)</sup>を詳細に分析している。

### (2) スロッシング現象の複合的影響

元原子炉格納容器設計者の後藤政志氏は、地震動の大きさ(加速度)が巨大でなくとも、継続時間が長いと、地震動で引き起こされる、(圧力抑制室の)水面の動揺が増幅されるという<sup>22)</sup>。

また配管破損(破断)が起こって冷却材(水蒸気)が噴出するときに、水面の動揺が重なると、噴出する冷却材を十分に減圧できなくなり、格納容器が破損する可能性も指摘している。地震動の継続時間がこれまでもなく長かった今回の地震では、水面の動揺が原発の状況を致命的に悪化させたおそれがある<sup>22)</sup>。

さらに、原子力プラント全体にスロッシング現象を適用すれば、圧力抑制室の水面動揺が格納容器の機能喪失の原因となりうるだけでなく、使用済燃料プールの水面動揺がプール水の逸水につながることで、圧力容器内の水面動揺が炉心の核反応による出力振動(出力の空間的・時間的な変動)の原因ともなり得る、という重要な指摘も

している<sup>22)</sup>。

### (3) 事故進展と放射性物質放出シナリオ

田辺文也氏<sup>23)</sup>は、観測データがない場合には簡易モデルで炉心推移を求め、それらと各種の観測データ分析を基に、2号機の圧力抑制室は3月12日正午頃までに地震または付加的なその後の負荷〔主蒸気逃し安全弁（SR弁）からの蒸気流入による動的荷重〕のために、格納容器と圧力抑制室を結ぶベント管が破損したと推定している。

この仮説で、15日1:00～6:00の圧力抑制室の放射線量率の減少、14日21:18のSR弁2個開の後の21:37のサイトでの空間線量率ピークの出現、格納容器の圧力計算で計測値の傾向を再現するには12日正午頃から格納容器の破損を仮定する必要があること、などが矛盾なく説明できる、と説得的に分析している。

### (4) ベント管への地震動の影響

2012年7月21日に放映されたNHKの番組『NHKスペシャル メルトダウン連鎖の真相』<sup>24)</sup>が、どの事故調報告書も言及していない事柄について、関係者のインタビューも交えて興味深い推論を行っている。

1号機が水素爆発をした後、14日夜、海水注入を行うため、SR弁を開けようとしたが、関係者も驚いたことに、これまで何回か開いていたSR弁が開かなくなった。その原因は何か。NHKによると、SR弁は加圧窒素ガスを吹き込み、その圧力と大気圧の差圧により開閉する構造になっていた。しかし、格納容器内圧が上昇したため、差圧が小さくなり、SR弁を駆動できなくなった。SR弁の構造に問題があったわけである。すなわち非常事態への対応装置に実証的裏づけが欠如している疑いが出た。

こうして注水も不可能となり、2号機の炉心の損傷はいつそう進んだ。さらに、上昇する格納容器圧力を逃がすために、ベント弁を開けようとしたが、これも開かなかった。その理由は何か。ベント弁を開けるための圧搾空気を送る配管が耐震設計のランクCとなっており、地震動によって破損した可能性が高いとNHKは推測している。

この結果、格納容器内圧は耐圧限界を超えて上昇し、15日早朝の格納容器大破損につながったと推定されている。

## 7 3号機への影響

東電が2011年5月に公開した解析<sup>25)</sup>では、「津波が到達する前に、地震によって高压注水系の配管が壊れ、蒸気が漏れたと仮定すると、圧力容器の圧力が急激に低下するなど事故直後の状況をうまく再現できる」としていた。

しかし、同年7月末に公表した見解<sup>26)</sup>では、「高压注水系の配管が破断して大量の蒸気が漏洩したとは考えられない」と否定した。その理由は、その後の聞き取り調査

の結果、3月13日に地下1階の高圧注水系のポンプ室に立ち入り、流量を絞ってポンプから別ルートへ冷却水を流すように調整していたことが分かったこと、また破断したなら、高温の蒸気が漏れてポンプ室に立ち入れないはず、という。しかし、東電は最終的には現場の破損状況の確認が必要としている<sup>27)</sup>。

東電側による社員または関連会社の社員の聞き取り調査はどの程度の客観性が保証されるだろうか。3号機のデータ推移と東電の事故調報告書をさらに批判的に検討する必要があるかもしれない。興味深いことに、3号機のSR弁も開かなかったことが『NHKスペシャル メルトダウン連鎖の真相』でも指摘されている<sup>24)</sup>。

## 8 4号機への影響

前述のStohlらの研究は注目すべきことを指摘している<sup>6)</sup>。セシウム137放出のピークは3月14～15日であるが、12～19日までの放出が大きく、それが4号機の使用済燃料プールへの放水が始まったのとちょうど時を同じくして急減している。このことは、4号機の使用済燃料プールからも放出があったことを示している。この指摘が正しければ4号機にも地震動の有意の影響が出ている可能性がある。

## 9 近隣原発への地震動の影響との比較

襲った津波の最大の高さは、福島第一、第二原発ではそれぞれ、15.5 mと7 mとの極端な差があったことが明暗を分けたとされている<sup>2)</sup>。しかし、地震の震度は共に6強であったが、地震動の瞬間的な作用を示す最大加速度も第一原発が550ガル（東西方向）、第二原発が305ガル（上下方向）と大きく異なった。

第一原発では、基準地震動(Ssレベル)から想定した最大加速度応答値を超えた<sup>2,5)</sup>。女川原発では、津波の高さは13 mであったが、敷地が海拔14.8 mであった。しかし地震による部品の震動による電源盤の火災が発生し、後日、これがもとで非常用ディーゼル発電機1台の故障が起こった可能性がある<sup>28)</sup>。女川原発は非常用発電機1台が動かないまま、4月7日の余震にあい、外部電源3系統のうち2系統が途絶し、別の発電機1台と1系統は生き残ったが、一時は綱渡り状態に陥った<sup>29)</sup>。周辺地域で過去の主な地震と比べても、4倍以上の余震回数が観測されている<sup>30)</sup>。

## おわりに

以上分析したように、福島第一原発事故の直接的原因において、巨大な津波が非常用電源の一部または大部分の「とどめを刺した」のは事実であるが、事故の発端、事故の進展、大量の放射性物質の放出について、地震動が主導的な役割を果たしたと筆者は考える。巨大技術システムの事故は、周辺装置から起こるとも言われる。配電盤など非常用炉心冷却装置系の周辺装置から過酷事故に至る可能性も、想定すべきであ

る<sup>5, 31)</sup>。

3.11 地震により、福島第一原発の事務本棟は使用不能になった。しかし、2007 年中越沖地震による柏崎刈羽原発への影響の教訓から、2010 年 11 月に福島第一原発に新たに建設されていた非常用の重要免震棟は無傷で生き残り、現地事故対策本部が物理的に機能できたことは象徴的である<sup>5)</sup>。

有益な議論とコメントについて、東日本大震災特別委員会の山本富士夫委員と福岡支部・核問題研究委員会の皆さんに感謝する。

## 注および引用文献

- 1) 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」(概要, 本文, 資料), 2011. 「最終報告」(概要, 本文, 資料) 2012. 特に, pp.29-32.
- 2) 東京電力「福島原子力事故調査報告書」2012.
- 3) 日本再建イニシアティブ・福島原発事故独立検証委員会「調査・検証報告書」(ディスカバー, 2012).
- 4) 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会(概要, 本文, 資料) 2012. 特に, p. 202, pp.213-215, 参考資料 pp. 61-82.
- 5) 石橋克彦「福島原発震災: 大自然に対する無謀な戦いに敗れた今, 最善の戦後処理を急げ」『科学』**81**(5), 411-416.
- 6) A. Stohl et al., Xenon-133 and caesium-137 releases into the atmosphere from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant: determination of the source term, atmospheric dispersion, and deposition, *Atmos. Chem. Phys.*, **12**, 2313-2343(2012).  
[www.atmos-chem-phys.net/12/2313/2012/doi:10.5194/acp-12-2313-2012](http://www.atmos-chem-phys.net/12/2313/2012/doi:10.5194/acp-12-2313-2012)
- 7) ファインマン, レイトン, サンズ『ファインマン物理学 II 光, 熱, 波動』(岩波書店, 1980) pp.347-348.
- 8) 恒藤敏彦『弾性体と流体』(岩波書店, 1983) pp.158-162.
- 9) 河田恵昭『津波災害』(岩波書店, 2010), pp.53-78.
- 10) 日本科学者会議編『地震と津波』(本の泉社, 2012) pp. 44-45, pp. 86-88, pp. 104-106, pp. 110-112, pp. 140-142, pp. 144-148.
- 11) 「東電公表資料」2011 年 8 月 8 日.
- 12) 大前研一『原発再稼働 最後の条件』(小学館, 2012), pp. 34-35.
- 13) 田中三彦「福島第一原発の「耐震脆弱性」を注視する—問題「想定外の津波」より根深い」『科学』**81**(5), 420-425(2011). (福島第一原発 4 号の元炉設計者) .
- 14) 田中三彦「東電シミュレーション解析批判と, 地震動による冷却材喪失事故の可能性の検討」『科学』**81**(9), 945-960(2011).
- 15) 田中三彦「予断を排した事故シナリオの検討を—1 号機非常用復水器はなぜ即刻手動停止されたか」『科学』**81**(12), 1230-1238(2011).
- 16) 岡本良治「福島第一原発事故の原因, 推移, 「収束方針」の分析」『日本の科学者』**47**(3), 8-12 (2011).
- 17) 事態の経過については以下のサイト, [http://rengetushin.at.webry.info/201112/article\\_9.html](http://rengetushin.at.webry.info/201112/article_9.html)
- 18) 原子力安全保安院(当時), 福島第一原子力発電所 1 号機非常用復水器(IC) 作動時の原子炉挙動解析, <http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/800/28/004/231209-3-2.pdf>
- 19) 原子力安全保安院(当時)と市民団体との交渉. [http://www.jca.apc.org/mihama/fukushima/gov\\_neg](http://www.jca.apc.org/mihama/fukushima/gov_neg) 2011. 19\_kakunin.pdf
- 20) 計算ノート.

- 21) 渡辺敦雄「水素爆発をもたらしたものは何かーMark I 型原子炉格納容器の圧力抑制室に関する水力学動的荷重問題」『科学』, 81(12), 1239-1245(2011).
- 22) 後藤政志「格納容器の機能喪失の意味ースロッシングの検証なしに運転してはならない」『科学』 81(12), 1246-1251(2011).
- 23) 田辺文也『メルトダウン』(岩波書店, 2012) pp. 43-49, pp. 82-98.
- 24) NHK スペシャル「メルトダウン連鎖の真相」  
<http://www.nhk.or.jp/special/detail/2012/0721/>  
動画とスクリプト.  
<http://birthofblues.livedoor.biz/archives/51372740.html>
- 25) 東京電力, 公表資料 2011 年 5 月 24 日.
- 26) 東京電力, 公表資料 2011 年 7 月 28 日.
- 27) 毎日新聞 (2011 年 7 月 29 日).
- 28) 朝日新聞 (2011 年 5 月 31 日).
- 29) 毎日新聞 (2011 年 5 月 19 日).
- 30) 気象庁, 報道発表資料 2011 年 5 月 13 日.
- 31) アイリーン・美緒子・スミス『原発を再稼働させてはいけない 4 つの理由』(合同出版, 2012) pp. 34-38.  
(HP の最終閲覧日: 2012 年 12 月 5 日).

# 放射線による人体影響

## ——低線量被曝・内部被曝を中心に

沢田 昭二

### はじめに

福島原発事故による放射線被曝は、広島・長崎原爆の放射性降下物による被曝と共通性がある。しかし、放射性降下物による被曝影響の研究は、核兵器国の核政策と原発推進政策で大きくゆがめられ、また国際放射線防護委員会（ICRP）や国際原子力機関（IAEA）、国連科学委員会（UNSCEAR）なども、こうした核政策に従属して本来の役割を果たせず、放射線影響、とりわけ内部被曝の真実を明らかにすべき科学者の社会的責任を果たせていない。

以下において、広島・長崎の原爆被曝者に対する放影研（後述）の被曝影響の研究の問題点と、被曝実態に基づけば、内部被曝に関する研究の端緒が開けることを示す。

### 1 米国の原爆被害隠蔽政策と放射線防護の国際体制

1945年9月、日本占領が始まると外国人記者が来日して広島取材を始め、原爆投下30日後も「原爆病」によって多くの死亡が続いている悲惨な状況が海外に伝えられた。

マンハッタン計画の医学部門の責任者であったトーマス・ファーレル准将は、報道によって原爆投下に対する批判が強まることを怖れて、東京で記者会見し、「広島・長崎では、死ぬべきものは死んでしまい、9月上旬現在において、原爆放射能のために苦しんでいる者は皆無だ」と声明した<sup>1)</sup>。

残留放射線による影響を認めると、原爆による傷害が広範囲に及び、長期に継続することになり、核兵器使用の国際人道法上の違反が明白になる。占領軍は9月19日、原爆被曝に関する報道規制を発令した。この米国政府の政策が、放射線による被害影響の全面的解明を遅らせる出発点になった。

米国では1946年、マンハッタン計画に代って原子力委員会（AEC）が設立された。また、従来の全米X線ラジウム防護委員会に代って、全米放射線防護委員会（NCRP）が設置された。NCRPの第2委員会は放射線内部被曝リスクに関する審議を担当し、オークリッジ研究所の保健物理部長カール・モーガン博士が議長を務めた。しかし、内部被曝に関する研究結果の発表は許されず、第2委員会の審議は1951年に打ち切ら

れた。

国際的に合意された放射線障害のリスクの基準を示すために、1950年に国際組織であるICRPが国際X線およびラジウム委員会と名称変更して発足した。ICRPの各委員会の議長はNCRPの対応した議長が兼ねたのでICRPはNCRPと同様に核兵器政策によって大きな影響を受けた。ICRPとNCRPの内部被曝委員会議長を20年間務めたモーガン博士は、著書で政治的圧力を受け続けたことを述懐している<sup>2)</sup>。

## 2 ABCC—放射線影響研究所（RERF）の問題点

米国政府は、原爆放射線による被曝影響の隠蔽政策をとる一方、核兵器を使用した場合の放射線影響を知る必要に迫られ、1947年、トルーマン大統領の指示によって原爆傷害調査委員会（ABCC）を広島市と長崎市に設置した。ABCCは、日本政府から受け取った1950年国勢調査付帯調査による原爆被曝者リストの広島市と長崎市在籍者を寿命調査（LSS）集団として、死亡原因などの疫学調査を、さらに、成人健康調査（AHS）集団を設定して健康調査を始めた。

ABCCの調査は、占領軍の強制的性格を持ち、障害で苦しんでいる被曝者を検査だけで治療しないため、被曝者に恐れられ忌避された。ABCCの調査と研究は、主として原爆爆発後1分以内に放出された初期放射線による外部被曝に重点を置いた。原爆爆発1分以後に放出された放射線を残留放射線と呼んでいる。

残留放射線には、初期放射線の中性子の吸収によって誘導放射化された物質からの放射線と放射性降下物からの放射線がある。ABCCの研究では、残留放射線による被曝影響はほとんど無視された。これは、ABCCの研究目的が核戦争の準備であったことと関連している。

放射線影響の疫学研究には被曝線量評価が必要になる。米国はネバダの核実験場に日本家屋を建てて初期放射線の遮蔽効果を調べ、爆心地からの距離ごとの被曝線量を求めて、1957年暫定線量評価（T57D）や1965年暫定線量評価（T65D）を作成した。

これを用いてABCCは、被曝者を初期放射線の被曝線量ごとに区分し、がんなどの発症率の疫学研究を進めた。1975年、ABCCが閉鎖され、新たに日米共同運営の放射線影響研究所（放影研、RERF）が発足した。スタッフと初期放射線影響に重点を置く研究計画はそのまま引き継がれた。

ネバダでの核実験は長崎型プルトニウム原爆のため、ウラン原爆である広島原爆の被曝線量とT65Dの評価に大きな食い違いがあった。そこで、原爆放出の放射線の伝搬計算が大型計算機によって可能になると、1986年、原爆放射線被曝線量評価体系（DS86）がつくられて、疫学研究の線量評価に用いられるようになった。

被曝者の疫学研究では、本来まったく原爆放射線に被曝していない非被曝者集団をコントロール（比較対照群）として設定して、被曝者と比較しなければならない。と

ころが ABCC 以来、放影研の疫学研究では、初期放射線被曝を無視できる遠距離被爆者と、原爆の爆発後に市内に入った入市被爆者を比較対照群のコントロールとしてきた。

1983 年、ブレーメン大学のインゲ・シュミッツフォイエルヘーケ教授は、放影研の LSS 集団のコントロールとされている T65D の初期放射線被曝 90 mSv 以下の遠距離被爆者集団と、入市被爆者集団の各種障害の発症率と死亡率を日本人平均と比較した相対リスクを求めた。彼女の研究は、放影研のコントロール集団もかなり被曝していることを初めて科学的に明らかにした重要な指摘であった。しかし、論文としての掲載は拒否され、“Health Physics” 誌の Letter として発表された<sup>3)</sup>。

### 3 DS86 の原爆残留放射線の線量評価

DS86 には、広島と長崎の爆心地からの距離ごとの初期放射線のガンマ線と中性子線の線量評価を与えるとともに、残留放射線の第 6 章が設けられた。この章には、放射性降雨によってもたらされた放射性物質が放出した放射線の物理学的測定結果と、初期放射線の中性子によって地上の物質が誘導放射化されて放出する放射線の測定結果が紹介されている。

第 6 章のはじめには、こうした土壤に浸透した放射性物質が、その後の台風の雨などで流出した可能性を述べる一方で、この測定に基づいて被爆直後から将来にわたって放射性降下物から受ける累積被曝線量を計算して結果を記載している。放影研も日本政府も、広島では爆心地から西方 3~4km の高須地域の 0.006~0.02 Sv、長崎では爆心地から東方約 3km の西山地域の 0.2 Sv が放射性降下物による主な被曝線量で、その他の地域は無視できるとしてきた<sup>\*)</sup>。

厚生省は、この結果を「科学的」であるとして、被爆者が原爆症の認定を申請したときの審査の基準の放射性降下物による被曝線量とし、2003 年に始まった原爆症認定集団訴訟に連敗しても、厚労省と裁判において国側の証人や意見書を書く科学者は、今なおこの DS86 の記述にとらわれ続けている。

さらに第 6 章には、長崎の西山地域の被爆者から放出されるセシウム 137 由来のガンマ線を 1969 年と 1981 年にホールボディカウンターによって測定した結果を内部被曝線量として記述している。セシウム 137 の物理学的半減期は約 30 年であるが、体内に摂取したセシウムは新陳代謝によって排泄され、生物学的半減期約 80 日で半減するので、放射性降下物の直接摂取による内部被曝線量は 24 年後には何十桁も落ちている。

測定したのは、作物などを通じて測定 1 年以内に摂取したセシウム 137 であり、その後の測定によって環境半減期が 7.4 年であることがわかり、1945 年から 1985 年までの累積被曝線量を男性 0.1 mSv、女性 0.08 mSv と評価して第 6 章に記述している。これを放影研も厚労省も、放射性降下物による被曝影響を無視するごまかしの材料とし

て利用している。

広島原爆では、原子雲の中央部からの強い放射性降雨の降雨域は、爆心地から北西方向であることが被爆者からの聞き取り調査によって明らかにされている。しかし、この降雨域の主要部分は、被爆後爆心地から約 2 km にわたって発生した広島市全域の大火災にともなって生じた激しい降雨域と重なっており、放射性物質の大部分は流失している。川や池で魚や蛙が死んで浮いてきたという強い放射性降雨の地域の被爆者の証言は、火災雨の前の強い放射性降雨の影響を伝えている。

また、9月と10月に台風が広島を直撃し、大洪水によって放射性物質の大部分は押し流された。高須地域は強い放射性降雨域の周辺部に相当し、火災雨が降らなかった地域である。また、仁科芳雄博士らが日本政府に命令されて、原爆であることを確認するために8月9日に広島市内の28カ所から採取した土壌が保存されていて、静岡清博士らの測定から、高須地域の19倍の放射線が測定された地点（西大橋東詰め）があったが、洪水の後では流失して、強い放射線は測定されなくなっている。

広島と異なって長崎では、爆心地が長崎市の中心部よりかなり北にずれ、火災域は広島の4分の1以下で、西山地域の放射性降雨によってもたらされた放射性物質の火災雨による流失は避けられて、10倍以上の値が得られたと考えられる。

#### 4 放射性降下物による被曝影響

広島・長崎原爆の中性子線を吸収して誘導放射化された地上の物質が放出する微量な放射線の測定によって原爆の中性線量を推定し、原爆のガンマ線を吸収した結晶を熱して蓄えていたエネルギーを光として放出させて測定して原爆のガンマ線量の推定ができる。測定結果を総合的に解析すると、広島も長崎も DS86 の線量評価は爆心地から 1.5 km 付近より遠方では実測値と較べて系統的に過小評価になっていた。

私は、この結果を原爆症認定裁判に意見書として提出し、証言をおこない、最高裁の判決にも採用された。最高裁で勝訴した松谷英子さんは、初期放射線が到達しない長崎の爆心地から南方 2.45 km で被爆して脱毛を発症している。初期放射線の過小評価を実測値に即して是正しても、脱毛の発症を説明できない問題が残る。長崎の爆心地から南方地域には強い放射性降雨が認められなかったもので、松谷さんへの被曝影響は、降雨以外の放射性降下物の影響を考えざるを得ない。

放射性降下物による被曝影響を考察するに当たっては、原子雲の生成過程に関する理解が決定的に重要である。放影研が 2012 年 12 月に発表した「残留放射線に関する放影研の見解」において「放射性粒子は、爆発に伴う高温で一旦気化した後、再冷却の過程で微粒子になり高空に広く拡散してしまいました」と記述している。さらに ICRP の委員で原爆症認定裁判の国側証人の科学者は、放射性物質は原爆の爆発で飛び散ったという珍論を、提出した意見書に書いている。

原爆の核分裂の連鎖反応で生成された放射性物質は、連鎖反応が終わる 100 万分の 1 秒以内ではまだ飛び散っていない原爆容器の中にあり、爆弾容器の周囲に生成されたプラズマ状態の火球の急上昇にともなって放射性物質は急上昇して急冷却し、放射性微粒子になり、大気中の水分を吸着して水滴の核になって原子雲をつくった。この原子雲の中央部は、対流圏と成層圏の境界の圏界面を突き破って成層圏に達し、中央水滴は大きいので放射性降雨になって地面に降下した。

他方、原子雲の周辺部の水滴は小さく、圏界面に達すると下からの上昇気流に押されて水平方向に広がった。小さい水滴の大部分は降下中に水分を蒸発させて元の放射性微粒子になり、広がった原子雲の下に充満した。この放射性微粒子が原子雲の下の広い範囲の被爆者に内部被曝をもたらした。原爆の爆風は火球の膨張でつくられた高圧の衝撃波が伝搬してつくられたので、放射性物質が爆風で飛び散ったことにはならない。

放影研は、2012 年 12 月に「黒い雨」に逢ったかの質問に No と答えた LSS 集団と Yes と答えた LSS 集団の固形がん死亡率を比較して差が認められなかったので、「黒い雨」の被曝影響がなかったと発表した。しかし、これは、放射性降雨と放射性微粒子による被曝影響に差がないことを示しているにすぎない。

放射性降雨は「黒い雨」と呼ばれて注目されたが、原発事故による被曝影響と最も強い共通性をもつ放射性微粒子による被曝影響は無視され続けている。また、さまざまな被曝影響の調査の結果、残留放射線による影響も無視できないことが示されている。しかし、核政策の下で、残留放射線による被曝影響は無視できるとする放影研や日本政府に影響され、これまで、こうした調査結果から残留放射線の被曝影響を具体的に研究する努力は不十分であった。

しかし、被曝実態という事実に依拠して科学的に研究すれば、放射性降下物による被曝影響を解明でき、内部被曝についての特質も探る可能性が開ける。

ABCC は 1950 年前後に LSS 集団について、原爆の爆発の瞬間の遮蔽効果や姿勢について詳細に調べるとともに、急性症状発症の調査をしており、放影研のプレストンらが長崎の医学会で脱毛発症率について報告し、1998 年の長崎医学会雑誌に投稿していることがわかった。この脱毛調査も、他の多くの調査と同様に、初期放射線がほとんど到達しない爆心地から 3km 以遠においても脱毛の発症を示している。

ところで、放影研も厚労省も、初期放射線の到達しない遠距離における急性症状は、原爆放射線以外の原因であり、脱毛は精神的ショック、下痢は当時の悪い衛生状態によると今でも主張している。

しかし、当時、日本各地の都市は米軍の空襲によって焼け野原になり、精神的な衝撃を受けたにもかかわらず、千人・百人規模での脱毛や下痢の発症は広島・長崎以外では見られず、精神的影響による円形脱毛は放射線被曝による脱毛とは明らかに異な

り、発症率が爆心地から系統的に減少していることは放射性降下物による被曝影響以外に説明することが困難である。

急性症状発症率は、動物実験から被曝線量に対して正規分布をしていることが知られている。放影研の京泉らが、免疫機能を除去したマウスに死亡した胎児の頭皮を移植して、X線を照射し、被曝線量と脱毛発症率の関係を求めている。

私は、京泉らの結果にフィットさせて被曝線量と脱毛発症率の関係を表す正規分布を求め、これを用いて ABCC の調査した脱毛発症率を解析して広島原爆の初期放射線による遮蔽効果を考慮した被曝線量と放射性降下物による被曝線量を図 1 のように求めた<sup>4)</sup>。放射性降下物による被曝線量は、爆心地から 1.2 km の地点で初期放射線被曝

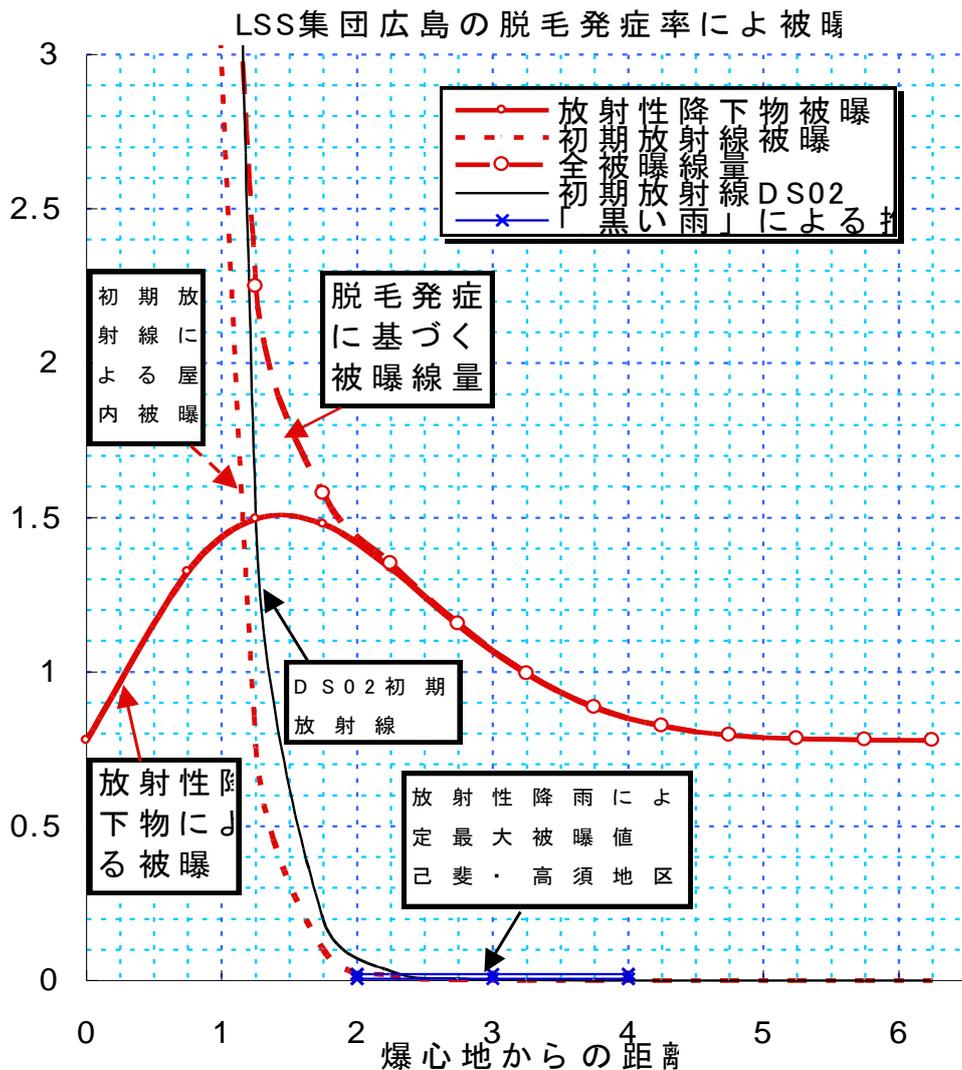


図 1 広島原爆の放射線被曝線量

線量と交差し、それより遠距離では放射性降下物による被曝線量が支配的になり、爆心地から 5~6km では放射性降下物による平均的被曝線量は約 0.8 Sv の一定値となる。

この値は厚労省が主張する己斐・高須地域の放射性降下物による被曝線量の 40 倍ないし 130 倍である。

広島と同様の被曝線量と脱毛発症率の関係を表す正規分布を用いて、長崎市と長崎県が爆心地から 12 km 以内の原爆手帳を支給されない地域で被曝した人びとを調査した脱毛、紫斑、下痢の発症率から、長崎原爆の被曝線量を図 2 のように求めた<sup>5)</sup>。爆心地から 5km から 12 km まで放射性降下物による平均的被曝線量は 1.2 Sv となった。

この値は、広島の放射性降下物による被曝線量の 1.5 倍で、長崎原爆の爆発威力が広島の 1.4 倍であること、爆弾容器の誘導放射物質の量が長崎原爆の方が多く、核分裂しないで残されたプルトニウム 239の方がウラン 235より放射能が強いことなどで説明できる。

このような放射性降下物による被曝影響を無視して遠距離被曝者を実質上コントロールにしている放影研の疫学研究には深刻な問題があり、こうした結果に大きく依拠している ICRP の放射線防護基準を、内部被曝が主要な被曝影響である原発事故の被曝影響の評価に用いることには、大きな疑問が生まれるのは当然である。

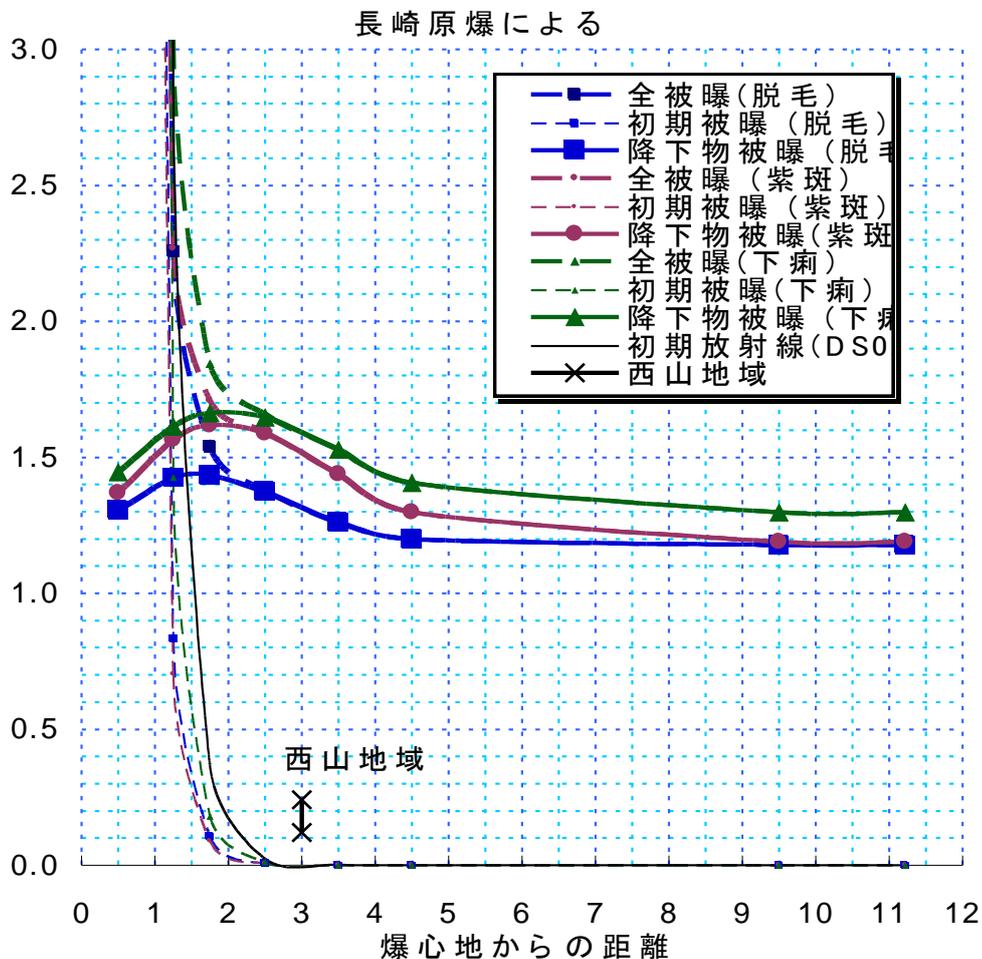


図 2 長崎原爆の放射線被曝線量

## 5 内部被曝と低線量被曝による晩発性障害

内部被曝の特質の一端は、爆心地からの距離による急性症状の脱毛、皮下出血による紫斑、下痢の発症率を比較すると明らかになる。脱毛と紫斑(皮下出血による)の発症率は、爆心地からの距離とともにほぼ同じような変化をしている。しかし、下痢の発症率は近距離では脱毛や紫斑に比べて小さく、遠距離では数倍大きい。近距離では初期放射線のガンマ線や中性子線による瞬間的な外部被曝が主要な被曝影響を与える。

外部被曝では、透過力の強いガンマ線が腸壁まで到達する。けれども到達したガンマ線は、まばらな電離作用を行って、薄い腸壁の細胞にあまり傷害を与えないで通り抜けてしまうので、脱毛や紫斑を発症させるよりもさらに高線量のガンマ線でなければ下痢を起こさない。

一方、遠距離では、放射性降下物の放射性微粒子を体内に摂取したことによる内部被曝が主要になる。呼吸や飲食で取り込んだベータ線を放出する放射性微粒子が腸壁に到達すると、ベータ線は、密度の高い電離作用を行うので、腸壁に損傷を与えて下痢を発症させる。こうして、外部被曝では、透過力の強い放射線が主要な影響を与え、内部被曝では、透過力の弱い放射線が重要になることによって説明できる。

現在の原発事故による被曝は、被曝線量からは急性症状よりも晩発性障害の発症が懸念の中心となる。放影研の放射性降下物による被曝影響を無視する研究の欠陥が内部被曝の研究を大幅に遅らせた。

広島大学原爆放射線医科学研究所(原医研)の広島県居住の被曝者を広島県民の非被曝者をコントロールにした研究によって、爆心地から 1.2 km から 2 km の固形がん死亡率の過剰相対リスクから、この被曝距離での被曝影響の 70%以上は初期放射線以外によることを示した。この結果は、脱毛発症率など急性症状の発症率から得られた、爆心地から 1.2 km 以遠では放射性降下物による主として内部被曝による影響が初期放射線を上回ることに一致している。

被曝者の晩発性障害である固形がんによる死亡率は非被曝者よりも高いにもかかわらず、原医研の研究によれば、全死因による死亡率は爆心地から 1 km 以内の被曝者を除いて男女とも非被曝者より 9%低率である。

これは、被曝者が年 2 回の健康診断を国の責任で行ってきたことの反映で、原発作業員を含め、福島県とその周辺の都道府県の住民など、今回の放射線によって被曝した人びとに対し、健康管理を国の責任で行う必要性を示している。

### おわりに

放射性降下物や誘導放射化物質による被曝実態に基づいて、内部被曝の研究を明ら

かにできる可能性の一端を示した。放影研以外にも原爆被爆者に関する多くの調査があり、これら被爆実態を示す貴重な資料から、近年、急速に発展している分子レベルでの医学的研究と合わせて内部被曝の機構を含む科学的な研究を推進することが科学者に求められている。

こうした情勢に対応するために、2012年1月、「市民と科学者の内部被曝問題研究会（内部被曝研）」が発足した。名誉会長の肥田舜太郎さんは、被爆医師として、被爆直後から多数の原爆被爆者の医療に関わり、内部被曝の研究を行っていた米国の科学者と連携して日本で最も早く内部被曝の重要性を指摘されていた。

内部被曝研は、福島原発事故による被曝防護に日本政府や福島県が、核政策に影響された国際放射線防護体制に影響され、従属して被曝影響を過小評価し、きわめて不十分な放射線防護体制をつくっていることを批判してきた。

日本と世界の市民と科学者が連携して、核兵器政策や原発推進政策によってゆがめられることなく、内部被曝を含む放射線による人体影響の研究を発展させるとともに、不幸な福島原発事故による被曝影響の軽減に少しでも貢献できることを期待している。

#### 注および引用文献

- 1) 高橋博子著『封印されたヒロシマ・ナガサキ』（凱風社、2008）。
  - 2) カール・モーガン、ケン・ピーターソン著、松井・片桐 訳『原子力開発の光と影』（昭和堂、2003）。
  - 3) Inge Schmitz-Feuerhake, Health Physics, 44, 693-695 (1983)。
  - 4) Shoji Sawada, Estimation of Residual Nuclear Radiation Effects on Survivors of Hiroshima Atomic Bombing, from Incidence of Acute Radiation Disease 『社会医学研究』29巻1号 47-62, (2011)。
  - 5) 沢田昭二「放射線による内部被曝-福島原発事故に関連して」『日本の科学者』46(6), 1031-1037 (2011)。  
沢田昭二「被曝実態に基づく放射線影響の研究-原爆症認定集団訴訟の経験から」『日本の科学者』47(4),12-18(2012)。 沢田昭二「放射線による被曝影響」『科学』81（9）， 918-923（2011）。
- \*) 放射線の強さをシーベルト(Sv)という線量当量で表す。内部被曝にたいしては Sv は未確立であるが、ここでは X 線による外部被曝影響と同じ被曝影響をもたらす線量当量という意味で用いる。

## 著者のプロフィール

志岐常正（しき つねまさ）

1929 年生まれ，京都大学名誉教授

専門：堆積学，災害地質学，海洋地質学

著書：『人間生存の危機』（共著，法律文化社，1984 年）

『新編 宇宙・ガイア・人間環境』（共著，三和書房，2001 年）ほか

岡本良治（おかもと りょうじ）

1948 年生まれ，九州工業大学名誉教授

専門：原子核物理学

著書：『原発事故緊急対策マニュアル』（共著，合同出版，2011 年）ほか

沢田昭二（さわだ しょうじ）

1931 年生まれ，名古屋大学名誉教授，市民と科学者の内部被曝問題研究会理事長

専門：素粒子物理学，平和学。

著書：『共同研究広島・長崎原爆被害の実相』（新日本出版社，1990 年）

『核兵器はいらない！』（新日本出版社，2005 年）ほか。

2013 年 6 月 28 日

日本科学者会議 JSA e マガジン編集委員会

The Japan Scientists' Association (JSA)