

講演2)「ビキニ環礁水爆実験遭遇船員のリンパ球の染色体検査」

環境科学技術研究所前研究部長 田中 公夫 氏

高知県ではいろいろお世話になりました。この会場でも一昨年の11月と昨年2月と2回採血をしました。特に、室戸市の方々にはたくさんの方にご協力いただきありがとうございました。本調査では、船員の方々以外に対照者がどうしても必要で、70、80歳くらいで、ビキニ被災の経験のない男性の方々にも血液を提供していただきました。今日は、本調査で得られた結果を発表したいと思います。

ビキニ環礁では、いくつかの水爆核実験が行われたのですが、1954年(昭和29年)3月1日から5月14日までの計6回の実験の間にちょうど日本の船が近くの海上を通過していました。ビキニ環礁のある赤道上の風の流れから考えると、核実験場から東側の海上を通過していた船で被ばく線量が高かったと思われるので、東側にいた船を調査しました。

この水爆核実験の中には広島原爆の約1000倍の大きさのエネルギーを持つものもあり、私も広島原爆被爆者の調査をしています。この大きさは想像できないくらい大きい物です。福竜丸の漁船員の健康調査はすでに行われ、よく調べられているので、それ以外の船の船員に関して調査を行いました。このスライドでアンダーラインを引いている8隻の船に関して調査を行いました。他にも徳寿丸、第三岬丸の核実験場よりも西方の海上にいた船も調べていますが、西方にいて被ばく線量は低いだろうという理由で今回の調査からは外しました。このスライドで代表として第十宝生丸の移動航路を示します。これは気仙沼の船ですが、私たちは高知県の船以外にも、宮城県の石巻、気仙沼と神奈川県三崎の船なども調べています。今回はそれらと一緒にした結果を示します。例えばこの船は2回の核実験に遭遇をしています。

このスライド上のちょうどこの四角で示した所が、日本国が当時立ち入りをしてはいけないということで、ここに入った船は報告をするよう指示を出した区域です。

さて、本調査の目的は、これらの船の船員の被ばく線量はどのくらいだろうかを調べることです。放射線被ばくによる健康影響を調べようとすると、どれくらいの量の放射線に被ばくしているのかを知ることが必要になります。先程、星先生が歯を用いて調べることを話されましたが、人の体の中の試料を使って正確に被ばく線量が推定できる方法は二つだけです。一つは歯、もう一つは血液中のリンパ球です。過去、いくらか被ばくしたら、体の中で痕跡らしきものが残っていて、被ばく線量に応じた値の異常が残っています。ビキニ環礁の事件から60年も経ているので今でも分かるのかとよく質問されますが、確かに長い時間を経ると、その間に年齢が増え高齢になるので加齢の影響も加わることから難しくなるのですが、今回、解析方法を工夫してなんとかわずかな異常を見つけています。本調査の船員数は最終的には19名です。本日にビキニ被災時に乗船していたのか不明で、情報の曖昧な5名を本調査では除いております。対照者数は9名です。船員と同年齢で70~80歳代の男性の対照者の染色体異常頻度を比較しました。調べた漁船名は、第八順光丸、第五海福丸、第二幸成丸、第五明賀丸、第一金毘羅丸、第十宝生丸、第七大丸、第二明神丸です。それから忘れてはいけないのは、これらの核実

験時にこの海域を通過した船は漁船のみではなく、数隻の貨物船もいたことです。そのうち弥彦丸に関しては御存命の方がいらっしゃるので、協力をお願いしました。採血をした場所は、室戸、土佐清水、四万十、三崎、石巻、気仙沼などです。自宅の方にもお伺いして採血しました。各船が核実験に被災した最も近い位置は、核実験場から約 420 km から約 1,200 km の範囲になります。一番近いところでどのあたりを通過したのかという事は各船の航路の残されている記録からわかります。船員の年齢は 76~89 歳で男性です。そして、がんの治療は行っていない人です。高齢なので何らかの他の病気は持っているけど、がんの病気のない船員と対照者を調べています。値を比較するための対照者の方は室戸でお願いをしました。初め 11 名にお願いしたのですが、当時、ビキニ海域で操業したかもしれないなど、情報不明の 2 名を除いて最終的に 9 名としました。この方たちは漁業関係者が多く、年齢は 75~84 歳で、同じような環境で生活し食生活をした方です。医療被曝の有無についても調査をしています。CT 検査は採血時 1 年以内に受けた者は無く、受けた方は 3 年~5 年前で、船員も対照者も受けた方はほぼ同じ割合でしたので、今回の染色体異常の結果にほとんど影響はしていないと考えています。そのため今回は CT 検査を受けた者を除いて解析をすることはしていません。他にもビキニ被災時の経験の聞き取りをしています。例えば、船員 19 名の中で、白い灰が甲板上に降った記憶があるという方が 2 名、キノコ雲をみたような気がする方が 1 名います。それから、スクールに遭ったというのがかなりの数います。さらに、帰港時の測定で、自分の衣服や船体や操業で採ったマグロが、かなり汚染をしていたことをほとんど全員が記憶しており、また記録も残されています。

それから、星先生の方からもお話がありましたが、ビキニ被ばくはどのような被ばくなのかというと、水爆核実験で放出されたフォールアウトにより様々な放射性物質が、近くの海上を通過していた船の甲板上などに降り、それが溜ります。これに船員が直接被ばくをする。こういうのを外部被ばくと呼びます。甲板の洗浄や波でかなり洗い流され、放射線の量がだんだん少なくなるけれども、帰港地で船を降りるまで大体 2 週間ぐらい続けて船の中に居て被ばくをする。それから漁船員の場合には食事釣った魚を食べていました。貨物船の場合には食料を持ち込んでいて、そんなことはないそうです。体の中に入った放射性物質から体の中が被ばくをする、いわゆる内部被ばくです。

被ばくした線量を推定する方法では血液中のリンパ球の染色体異常を調べます。各人から 10 cc ほど血液を採取して、リンパ球を刺激して増殖を促す薬剤を添加して約 2 日間、実験室で培養をします。それから G 分染法で染めた染色体の標本をつくって、各人あたり 1,000 個以上の細胞について画像を取得して、染色体異常の有無を調べます。染色体は細胞の中にある細胞核の中にあります。染色体の中に遺伝に係る DNA があります。どのくらいの異常率があるかを 19 名の船員と 9 名の対照者と比べてみると、船員の方がより多くの異常が見られました。非常に低い値ですが、差がみられています。この多くみられた値を用いて、どのように各人の被ばく線量を推定するかを説明します。

本調査では、3 つの方法を使っています。例えばスライドの右側のグラフに関係式の曲線（これを検量線とも呼びます）が書いてありますが、例えば今回の調査でわかった異常の値の a（縦

軸)をグラフの横軸から読み取り、Xの値を得ます。つまりa個の異常があればXミリグレイの線量を受けたこととなります。今回の調査では私が持っている検量線を使って何ミリグレイの被ばくに相当するのを見ています。これを1人ずつ行い、各人の被ばく線量を求めます。

3つの方法の1つ目は被ばく後、長く残っていく染色体異常で、安定型異常を用いるものです。転座はこの異常に含まれます。原爆被爆者において、この異常は被ばく後、70年を経た現在も残っているため、この染色体異常の値は過去に被ばくした時の線量を推定するために使われています。この異常をこのスライドの上段に模式図で示します。

2つ目はこのスライドの下段に模式図で示す二動原体染色体異常で、この値を用います。このような異常は被ばく後、年々時間を経るごとに異常の値は減少をしていきますが、いくらかは残存していることが知られています。この残っている異常の値を使って被ばくした線量を推定します。このスライドに転座の異常の一例を示しています。この細胞では1番と5番の染色体の部分同士がちょうど交換しています。このような異常は被ばく後、何年を経ても残存しています。もちろん、染色体異常は被ばくをしていない健常者にも、一般に普通の食生活や生活をしていても低い頻度ですが見られます。しかも70,80歳など年齢が増えると安定型染色体異常頻度は大きく増加をします。そこで今回の調査のように、70,80歳代の対照者の方の染色体異常頻度をしっかり調べておくことが大切です。

これが結果を示したスライドです。左側が対照者9名の安定型異常の値を一人ずつそれぞれ黒丸で示しています。右側に船員19名の各人の値を示しています。点状の破線(……)が対照者と船員のそれぞれの平均値を示しています。船員と対照者で差があることがわかります。また対照者の平均値の標準偏差(平均値+1S.D.) (黒点の散らばり度合いを表す値)を波状の破線(_ _ _)で示します。船員の方ではこの平均値+標準偏差のラインよりも高い値を示すものが多くいることがわかります。異常頻度は2~3%と低いです。船員の方が高い値を示した理由をいろいろ考えないといけません。より高い異常頻度が見られたのはピキニ被ばくの影響があるためと考えています。

次のスライドにこれらの値を表にして示します。対照者の値は2.45%で、一方、船員は3.34%です。これを統計処理するとこれらの値に有意な差があることがわかりました。他にも、この表の一番右欄に示したようにクローンは船員のみに見られました。3名に見られました。クローンとは染色体異常を持った細胞がかなりの数になるまで増殖したものです。これは良性のクローンと考えられます。また、この表の右から2番目の欄に示したように、船員では複雑な異常(1細胞あたりの異常な染色体の個数)も少し多いことがわかりました。これは統計学的には有意ではありませんが。次の2つのスライドに船員に見られた複雑な染色体異常の例を示します。1つの細胞の中に3個異常があります。中には4,5個の異常な染色体を持つ細胞が船員に見られました。これも被ばくをしたかもしれない証拠となります。

被ばく線量を推定するために用いる2つ目の異常は二動原体染色体異常です。このスライドに示すように、二動原体染色体異常は2個の染色体がくっついて1本の染色体になったもので、2個の動原体を持ちます。この異常は被ばく直後に行う被ばく線量の推定には大変有用なこと

が知られています。しかし、被ばく後には年を経るごとにどんどん異常頻度が減少をすることが知られていますので、被ばく後、年月を経て被ばく線量を推定する時には、正確さが低いことが欠点です。

また、次のスライドにあるように同じ不安定型異常で、染色体が輪のような環状染色体も、二動原体染色体異常に合わせてよく被ばく線量の推定に使用されます。今回は二動原体染色体異常と環状染色体の和の頻度を調べて、線量の推定を行いました。

次に示すグラフには、対照者、船員の各人のこの値を示しています。縦軸の値は1,000細胞あたりの異常個数を示し、例えば、0.1や0.2の値は1,000個の細胞を調べて1個と2個ほど二動原体染色体と環状染色体が見られること意味します。この異常を9名の対照者と19名の船員について調べて、これらの平均値(点状の破線……で示す)を比べると船員の方が対照者よりも高く、統計学的にも有意な差が見られました。対照者の平均値の標準偏差(平均値+1SD)を波状の破線(_ _ _)で示します。船員ではこのラインよりも高いところに多くの者が居ました。70, 80歳の対照者と比べて、船員の方が高い異常頻度が見られたことは、ビキニ被災で被ばくしたことが原因なのではないかと考えています。

これらの結果を表にまとめます。二動原体染色体異常と環状染色体の和の値は、対照者が0.15(1,000細胞に1.5個)で、船員が0.35(1,000細胞に3.5個)です。大体2.3倍くらい船員の方が対照者よりも異常値が高いことが分かります。これらは非常に低い値なので、各人1,000細胞以上の多くの細胞を観察しないとなかなか異常を持つ細胞を検出できません。表の右から3番目の欄に二動原体染色体異常のみの値を対照者と船員で比較しました。対照者は0.11、船員は0.25で船員の方が統計学的にも有意に高いことがわかりました。この表の一番右の欄に二動原体染色体異常と断片が同時にみられる細胞の頻度を示しています。この細胞は被ばくで生じ、被ばく後、長年月中に体内で1回も分裂しないで残存している細胞と考えられています。この異常も被ばく線量推定に使用され、本調査では被ばく線量を推定する3番目の方法に使用しています。この異常についても船員(0.1%)の方が対照者(0.05%)よりも2倍多く観察されました。

このスライドには今回の調査で得られた二動原体染色体異常の値と医療被曝との関係を示しています。赤丸で示しているのがCT検査を受けた人ですが、受けている人は対照者中でも高い異常頻度を示しています。しかし、船員の中でもCT検査を受けていない多くの者が高い値を示しているため、これがビキニ環礁での被ばくの影響と考えています。

本調査で得られたこれらの染色体異常の値から被ばく線量を推定する3つの方法をこのスライドにまとめました。1つ目は安定型染色体異常の頻度を用いるものです。今回得られた安定型染色体異常頻度から原爆放射線での被ばくに相当する線量を求めました。私は原爆被爆者21名のデータから、安定型染色体異常頻度と被ばく線量との関係式を持っています。そこでは80~90歳では転座型異常が大きく増加するので得られた異常頻度から80~90歳の年齢での異常値を差し引いた後の値を用いて求めました。

2つ目は、私が持っている二動原体染色体異常頻度と線量との関係式を用いて求めました。

これは、私と2名の成人のリンパ球を使用して実験室でガンマ線照射を行い作っています。船員で得られた二動原体染色体異常頻度をこの関係式に当てはめて線量を求めました。

3つ目は佐々木、宮田（1968年）の方法で、Qdr法と呼ばれています。これは原爆被爆者やビキニ被災した福竜丸の漁船員の被ばく線量の推定に使用されています。本調査でもこの方法を用いて19名の船員の平均の被ばく線量を推定しました。

これが結果です。船員に見られた安定型染色体異常の頻度を用いて、原爆被爆者に相当する線量を求めると、第八順光丸は本調査中では最も核実験場に近い海上（約420 km）を通過した船ですが、少し高い値が得られていて、295 ミリシーベルトです。次に近い海上（核実験場より約560 km）を通過した弥彦丸では最大164 ミリシーベルト、第五海福丸（同約760 km）が最大で143 ミリシーベルト、第十宝生丸（同約1,100 km）が最大161 ミリシーベルト、第五明賀丸（同約1,100 km）が142 ミリシーベルト、第2幸成丸（同約1,100 km）が最大75 ミリシーベルト、第七大丸（同約1,200 km）が最大176 ミリシーベルトという値が得られました。しかし、この値には大きな誤差範囲があることも知ってください。また得られた値の多くはかなり低い値でこれらの方法の検出限界に近い値です。船員19名の平均値から推定した被ばく線量は安定型染色体異常で求めると91 ミリシーベルト、不安定型染色体異常の二動原体染色体異常からは52 ミリグレイ、またQdr法を用いて19名全員の平均値を用いて船員の被ばく線量を求めると約100 ミリグレイとなりました。3つの方法で求めた値はよく似ています。

本調査では、福竜丸に次いで高い被ばくをしたと思われる船の船員のリンパ球を用いた染色体異常の詳細な調査で多くの成果が得られました。以下このスライドにまとめます。

- ① 安定型染色体異常の値は船員の方が、対照者よりも高く、19名の平均値を用いて原爆被爆者の被ばくに相当する被ばく線量を推定すると91 ミリシーベルトとなりました。
- ② クローン性の染色体異常は、対照者には見られず、3名の船員のみに見られました。しかし、3名のリンパ球中のクローン出現率は低いです。原爆被爆者やビキニ被災した福竜丸船員にはクローンが見られています。
- ③ 同じ船で働く船員でも、船上で働く甲板員の方が船内で働く機関員などと比べて染色体異常の値が高い傾向が見られました。
- ④ 船員では1細胞中に3~5個の異常を持つ複雑な染色体異常を持つことが多い傾向が見られました。しかし対照者と比べ統計学的な差は見られませんでした。
- ⑤ 1,000 km 以内の核実験場に近い場所を通過した船で高い異常頻度が見られた。1,000 km 以遠でも高い染色体異常値を持つ船があり、そこでは局所的なフォールアウトなどがあつたのかもしれませんが。
- ⑥ Qdr法を用いて19名の船員の平均値から被ばく線量を推定すると約100 ミリグレイとなりました。福竜丸の漁船員の被ばく線量がQdr法で推定されています。もっとも高い船員が6.6 グレイ、もっとも低い船員が1.7 グレイと報告されています。最近の報告は出されていないので、1983年の報告を参考にしています。染色体解析は当時、今より古い方法であるギムザ法が使用されていたので、当時の染色体異常の検出感度が低いことを考慮しても、

本報告で調べた船員の被ばく線量は、福竜丸の船員と比べておよそ17分の一から66分の一であることがわかりました。尚、グレイとシーベルトはほぼ同じ値となります。

あとは、被ばく後、染色体異常を持つ細胞が体内に残存をすることの健康上の意味を知っておくことが大切だと思います。染色体異常は健常人でもいくらか持っています。高齢になると急に増加することが知られています。染色体異常を持つ細胞があってもすぐになんかの病気になるわけではありません。私たちの体には染色体異常を持つ細胞があり、長い時間にそれがクローナルな増殖をしても、免疫の力で増殖が抑えられます。それから染色体異常を持つ細胞が子孫に遺伝をするということが危惧されますが、より高い線量に被ばくをした原爆被爆者の現在まで調査では、子孫に異常が伝わっていたという証拠は見つかっていません。さらに、今回の調査で船員の被ばく線量が平均で91ミリシーベルトという値が得られましたが、この値はどの程度なのかということですが、先ほど星先生からもこの話がありました。100ミリシーベルトの被ばくによる人の発がんへの影響を他の様々な社会的なリスクと比較をすることが行われています。その報告では、100ミリシーベルトの被ばくによる発がんのリスクは間接喫煙や野菜嫌いの人ががんになるリスクとほぼ同じと言われていています。今回得られた値はべらぼうに高い値ではないのです。ただ、染色体異常の解析は元々外部被ばく線量を調べる方法ですので、内部被ばくの影響はあまり反映されていません。以上、本調査で調べた船員の染色体異常頻度はわずかに高い値だということが得られました。なお、本調査では、採血の会場準備、採血と問診、ビキニ被災漁船と被災者の情報の入手など多くの方々にもいろいろお世話になりました。お礼申し上げます。