

第1報 放射能汚染魚に関する研究*

齊 藤 要・鮫 島 宗 雄

(鹿児島大学水産学部放射能研究委員会)

1. Studies on the Radiologically Contaminated Fishes Caught at Kagoshima Sea Region

Kaname SAITŌ • Muneo SAMESHIMA

緒 言

米国が 1954 年の 3 月から 5 月にかけて、マーシャル近海で行った数回に亘る水爆実験の結果が我が国の漁業に与えた被害は極めて大きく、単なる経済的な問題としては片付けられないほど重大なものである。

放射能と魚の問題が大きく注目されたのは 3 月 15 日(3 月 1 日被爆)に起つた第五福竜丸事件以来のことである。当時水産庁はマーシャル近海に危険区域を設け、その附近で操業または航行した漁船を指定五港(塩釜, 三崎, 東京, 清水, 焼津)に入港させて、厚生省の放射能検査を受けさせることにした。当初(3 月中旬より 4 月上旬)水揚げされた放射能汚染魚は体の内部より表面に強く放射能が検出されたが、その後体表よりも内臓に強くあらわれ始めた。更に 5 月になつてからはマグロ類の近海漁業が始まりビキニよりかなりの距離にある台湾の東方海上や小笠原近海で強い汚染魚が漁獲されるに至り、しかも廃棄率は依然として減少の傾向が認められず、遂には前述の指定五港以外に鹿児島, 串木野, 高知, 大阪等でも市又は県の保健所が水揚げ魚に対し厳重なる放射能検査を行うようになった。この頃より本学部でも放射能対策研究会を設け汚染魚に関する調査研究を始めたのである。

I 鹿児島市中央魚市場における放射能汚染魚の検査実績

主として鹿児島市保健所の資料に基づき汚染廃棄魚の種類及び数を月別に調査した結果を示すと Table 1 の如くである。

廃棄魚の種類はバシヨウカジキ, シイラ, カマスサワラ, キハダに限定されている。時季的にみると 5, 6 月頃にシイラが多く廃棄されたが、その後バシヨウカジキの廃棄が多くなり、8 月以降は殆んどバシヨウカジキのみと云う結果になつている。尚 9 月以降に廃棄されたキハダは前述の近海漁業によるものではなく、フィリッピン, マーシャル近海で漁獲された遠洋物である。次に廃棄率を月別に比較すると 5 月が著しく多い結果となつているが 7 月 19 日に厚生省の廃棄基準が後述の如く緩和されたため、それ以後の廃棄率には自然減少の他に人為的条件による減少及び魚種による漁期漁場の相違による増減も考慮しなければならない。何れにせよ Table 1 の結果によると 10, 11 月の廃棄率は 6, 7, 8 月に比べ多いのである。尚シイラは漁場と漁期により強弱はあるが放射能を有する群と全然有しない群が殆んど区別される。しかしバシヨウカジキ, サワラの場合は同一漁場で

* 本報告は昭和 29 年 9 月本学部放射能対策研究会速報, 10 月日本水産学会食品分科会(於清水), 11 月日本水産学会九州支部大会(於福岡)で発表した結果も収録した。

Table 1. Results of inspection on the contaminated fish by radioactivity at Kagoshima prefecture. (* : Inspected fish, ** : Waste fish)

Species	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total	Waste (%)
<i>Coryphaena hippurus</i> シイラ	1145 (* **)	494 (40)	375 (5)	370 (3)	1211	423	144	-	4161 (113)	2.72
<i>Istiophorus orientalis</i> バシヨウカジキ	244 (9)	200 (9)	165 (10)	98 (5)	350 (23)	963 (45)	1652 (48)	1046 (9)	4718 (158)	3.35
<i>Acanthocybium solandri</i> カマスサワラ	736	1537 (4)	1266 (8)	441 (3)	724	776	191	29	5700 (15)	0.26
<i>Neothunus macropterus</i> キハダ	1239 (1)	963 (5)	701 (1)	663	381 (4)	772	159	617 (6)	5495 (17)	0.31
<i>Tetrapturus mitsukurii</i> マカジキ	242	731	225	67	112	377	371	827	2952	
<i>Thunus orientalis</i> マグロ	436	556	33	-	-	2	-	-	1027	
<i>Xiphias gladius</i> メカジキ	31	85	25	12	9	38	14	60	274	
<i>Makaira mazara</i> クロカワカジキ	227	239	145	70	155	268	103	137	1344	
<i>Makaira marlina</i> シロカワカジキ	25	157	262	67	277	1433	891	638	3750	
<i>Parathunus mebachi</i> メハチ	63	51	140	202	225	260	170	489	1600	
Other fish	1235	14512	13493	6535	3579	6150	4937	11233	61674	
Total	5623 (75)	19525 (58)	16829 (24)	8525 (11)	7023 (23)	11462 (49)	8632 (48)	15076 (13)	92695 (303)	
Waste (%)	1.33	0.29	0.14	0.13	0.33	0.43	0.56	0.10	0.33	

同時に獲れたものでも放射能を強く有する魚と全然有してない魚とが混在している。これは回游の群泳性、或は単泳性と関係のある現象かもしれない。尚廃棄魚は比較的表層魚に多い傾向が認められ、またこの調査では貪食な鮫類並に他のカジキ類に汚染魚が検出されないのは興味深いことである。何れにせよ魚類の生理生態と放射能による汚染の有無との関係は一考を要する問題と思う。

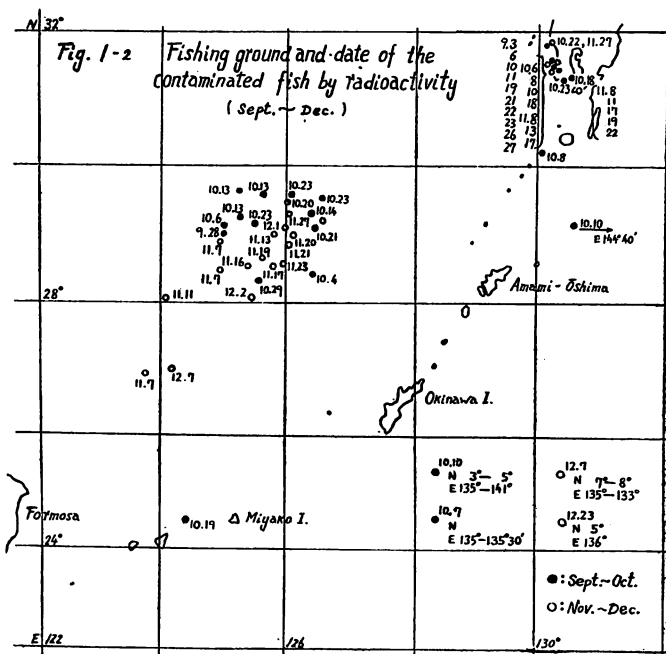
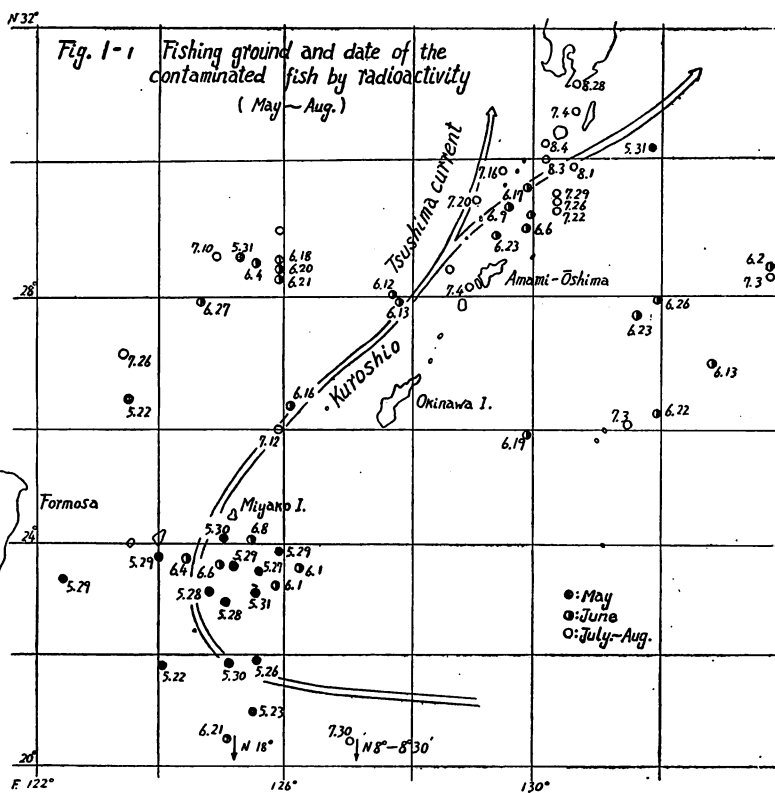
II 放射能汚染魚の漁獲された海域と期日

汚染魚の漁獲された海域はタラワ島、フィジー近海、ニューギニア北方、フィリッピン沖、マーシャル群島近海にまで及んでいるが最も多いのは台湾と鹿児島島の南端を結ぶ線を対角線とする略々正方形の海面である。この事実を次に海流及び漁獲時季と共に考察する。常識的に考えて水爆実験の行われたビキニ近海での汚染が最も多いと思うが、この汚染魚がその附近から西

へ北赤道海流と共にフィリッピン沖に達し、この附近から北上し黒潮と共に台湾琉球列島を経て鹿児島近海に移動したのではないかと云う可能性が考えられる。しかし汚染された魚類が斯様な大回遊をなすか否かは不明であり、又ビキニ近海で汚染されなくても途中で汚染された海水

水或は餌料を摂取することにより魚が汚染されることも当然考えられるのである。

次に鹿児島を根拠地とする漁船が汚染魚を漁獲した地点と期日を示すと Fig. 1 の如くで、操業区域は殆んど台湾と鹿児島県の南端を結ぶ海面である。鹿児島で汚染魚の問題が起きたのは5月中旬たまたま台湾東方海上で獲れたシラに放射能が検出されてからである。その後6月上旬に至るまで主としてこの



附近で汚染シイラ及びバシヨウカジキが発見され、次いで漁獲地点は時季の経過と共に黒潮の進路に沿い北上し宮古島近海及び東支那海に達し、7月中旬には県本土の佐多岬の定置網で汚染バシヨウカジキが1尾漁獲されている。更に8月から9月にかけては七島近海を経て鹿児島県本土におよび魚種は殆んどバシヨウカジキに限定されるようになった。その後9月から11月までは依然として鹿児島県の佐多岬、野間池、小浦等の沿岸定置網で漁獲されているのである。一方大島西方海上 $N27\sim30^\circ$, $E124\sim127^\circ$ の海面で3~4ヶ月の間において再び汚染バシヨウカジキが漁獲され始めたことは注目に値する。この群は台湾の東方海上より前述の進路に従つて北上した新しい群か、或は8月下旬に鹿児島県本土に現れた群が南下したものとも考えられる。更にその時季の水温及び従来のこの近海におけるバシヨウカジキの回游に対する経験的見解より考えて、鹿児島県本土に達した群の一部は対島暖流の流れに沿い九州の西海岸を北上し済州島附近に達しこの附近で水温低下等のため再び南下した可能性もある。事実9月中旬以降に済州島附近で汚染されたバシヨウカジキが漁獲されている。

勿論以上の結果より汚染魚の回游経路を明らかにすることには幾多の問題がある。即ち漁獲した魚の汚染された時季、場所、及び始めの放射能密度が不明であり、又漁船も漁期により操業海域を異にするため標識放流の如く一様に論ずることは出来ないが大凡の経路は推察し得ると思う。この問題に関する統計的な考察は後報²⁾に記してある。

前述の如く12月に入つてもビキニより遠く離れた鹿児島沿岸で400~500 countの汚染魚が水揚げされることは、その体内に物理的半減期及び生物学的半減期の長い放射性元素の存在することを意味し、水爆実験の水産生物に与えた大きな影響には驚くのみである。

Ⅲ 魚体放射能検査基準に関する 二、三の吟味

放射能による魚の汚染問題は我国では全く新しい体験で福竜丸事件当初は厚生省としても検査の基準を決めるべき科学的根拠は殆んど無かつたらしく、その基準や行政措置にも一貫性を欠く傾向があつた。3月18日に厚生省は「魚の放射能がガイガーカウンターを魚体より10 cm 離して100 count 以上ある場合にはその魚を廃棄処分にする」ことにした。この100 count の判定基準は天然の放射能より2~3倍以上の count があればその魚に人工放射能があると云ふ根拠によつて定められ、又測定距離の10 cm も実際の検査技術の難易や能率の点より決定したと聞いている。その後7月19日の指示で内臓、鰓等を除去し充分水洗して100 count 以上ある魚は廃棄することになった。この検査基準について若干の検討を加えた結果について述べる。

使用した G-M 計器は科研製 Model 32, 窓の直径 30 mm, マイカの厚さ 2.9 mg/cm^2 で count は総て net count で表わした。

A 測定箇所：前述の検査基準で汚染されたサワラ、バシヨウカジキ及びキハダの体表の各部分即ち鰓蓋部、胸鰭の基部、体幹中央部並に尾柄部について放射能を測定した結果を示すと Table 2 の如くである。

即ち同一魚体でも測定箇所によつて count に少なからぬ差が認められる。この差は、水揚げ後の取扱方にもよるが主として測定箇所の幾何学的条件（例えば凹凸、面積等）によるものと考え次に二、三の吟味を試みた。

B 測定距離：測定箇所を体幹中央部と限定した場合測定距離による汚染バシヨウカジキ及びサワラの体表 count の変化を検討した例は Fig. 2 の如くである。即ちこの程度の count の汚染魚では距離が $10\text{ cm} \pm 2\text{ cm}$ 附近では計測される count に大差はなく、又 G-M 管の窓を魚体に接触させて測定すると約2

倍の値を示す結果となつているが何れの試料でも距離による count の増減がこの関係になるとは限らない様である。

C 測定面積：次に測定距離を 10 cm とし魚体を切断して厚さを略々一定とした汚染バシヨウカジキの皮付切身を用い、表面積による体表 count の変化を各々魚体の右側と左側について測定した結果を示すと Fig. 3 の如くである。

即ち試料がある表面積以下の場合にはその面積の減少と共に次第に count が少くなり、或る限度に達すると更らに急激に減少する傾向があることが明らかである。

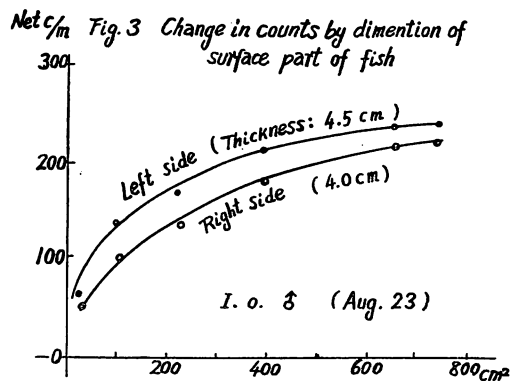
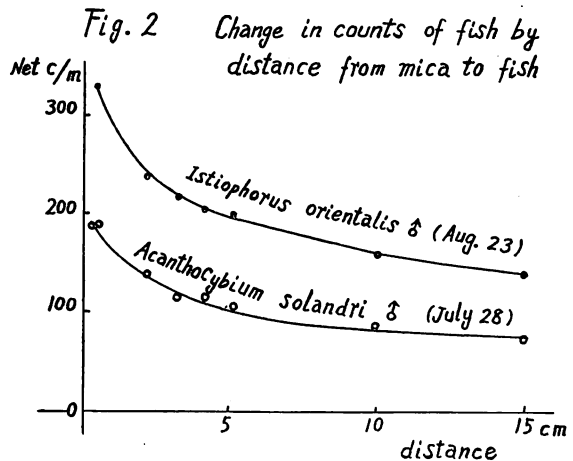
D 測定試料の厚さ：次に汚染バシヨウカジキ及びキハダを用い表面積を略々一定としそれに続く肉層の厚さによる count の変化を丸物と切身と体の左右両側について測定した結果を示すと Table 3 の如くである。即ち同一魚体の試料でも厚さにより count

Table 2 Change in counts with the difference of inspection part of same fish.

Species	Side	Opercle	Base of pectoral	** Trunk	Peduncle
<i>Acanthocybium solandri</i> (July 24) *	Right	298 ± 5	342 ± 4	232 ± 3	132 ± 2
	Left	276 ± 4	362 ± 5	212 ± 4	146 ± 3
<i>Neothunus macropterus</i> (Aug. 18) *	R.	137 ± 2	212 ± 4	143 ± 2	96 ± 2
	L.	146 ± 3	195 ± 4	126 ± 2	87 ± 2
<i>Istiophorus orientalis</i> (Sept. 1) *	R.	471 ± 5	586 ± 6	539 ± 6	238 ± 3
	L.	604 ± 6	712 ± 6	576 ± 5	264 ± 3

* Date of counting

** Central part of fish trunk



の増減することは明らかである。この厚さによる count の変化には肉中に存在する放射性元素の出す放射線の種類と勿論関係あるが、使用した G-M 計器は β 線, γ 線の精密

測定用に作られたものである。

以上の各実験結果より考えても, 厚生省の基準の如く単に距離のみを一定とすると仮に魚体の単位量中に同一放射能を有する場合でも測定面積及び厚さ即ち魚

Table 3. Change in counts of surface part with the shift of thickness of samples.

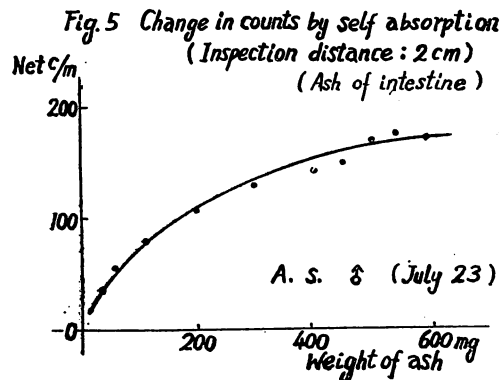
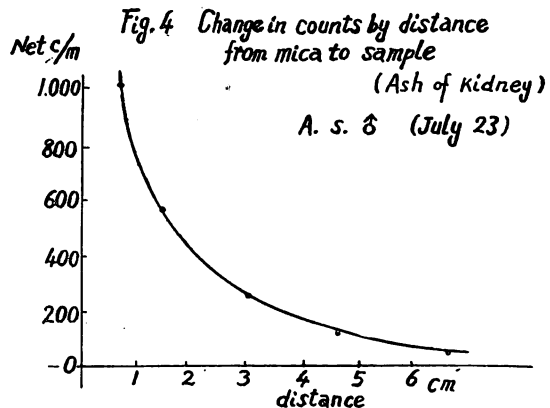
Species (Dimension)	Round			Fillet		Skin
	Side	Width (cm)	C/10cm	Thickness (cm)	C/10cm	
<i>Istiophorus orientalis</i> (30×25cm) Aug. 23	Left	14	288±4	6.5	209±4	170±3
	Right		320±3	5.5	217±3	177±3
<i>Neothunnus macropterus</i> (30×25cm) Aug. 14	L.	18	232±3	8.5	176±2	124±2
	R.		212±4	8.0	152±3	119±2

体の大きさによつて見掛上の count が著しく増減することは明らかである。換言すればイワシ, サバの如き小型魚では大型魚と単位量当り同程度汚染されていても個体として測定する時は計測値が著しく小さくなる可能性がある。かかる見地より 10 cm で 100 count の基準には検討すべき問題が多く, 特に魚体内に存在する放射性元素の種類並びに各々の人体に対する有害度を考慮した検査基準が望ましい。

IV 魚体の各組織における放射能分布

3月から4月上旬にとれた汚染魚は体の内部よりも表面に放射能を強く感ずることより, これは水爆実験の結果, 空中に散布された灰を直接魚体に受けたための汚染であると考えられていたようである。その後4月中旬より獲れ始めた魚では体表よりも内臓等に強い放射能が検出された。次に鹿児島に水揚げされた汚染魚の魚体各組織における放射能分布について検討した結果を述べる。

測定条件: 各組織を新鮮物, 乾物及び灰化物(灰化温度 400~600°)の状態にし, 各々を試料皿(内径 25 mm, 深さ 6 mm)に入れて count を測定したが, この場合も勿論前述の如く測定距離及び試料の測定量により count は異なる。此等の関係をサワラの腎臓及び腸の灰化物を試料として検討した結果が Fig. 4 及び 5 である。即ち灰化物の場合も距離



が遠くなると count は減少するが以下の各実験では試料台の最上段即ち 1 cm の距離で測定することにした。試料台の各段（距離）による count の変化並に段係数を算出した結果は Table 4 の如くである。即ち各試料共に段係数は略々一定であることより、各段で測定した count は段係数により特定の段の測定値に換算出来ることになる。

Table 4. Change in counts by distance from mica to sample and transforming factor of counting step.

Distance (mm)	Step (No.)	Kidney *		Liver *		Intestine *		Sharks fin **	
		C/50mg	Ratio (%)	C/50mg	Ratio (%)	C/50mg	Ratio (%)	C/50mg	Ratio (%)
10	1	1,087	100.0	2,809	100.0	236	100.0	4,239	100.0
20	2	577	53.0	1,552	55.0	123	52.6	2,214	52.2
35	3	276	25.4	728	25.9	62	26.0	882	23.8
50	4	138	12.7	367	13.0	33	13.2	522	12.3
70	5	68	6.5	216	7.0	16	6.7	274	6.4

* : Ashed tissue of *Acanthocybium solandri*

** : Was suffered from fission products on board of the 5th Fukuryu-Maru.

次に問題となるのは試料の量による count の変化、即ち放射能の自己吸収の現象である。測定距離 1 cm の結果では灰分量が約 50 mg 以下の場合量は量と count との間には略々直線的な関係があつて自己吸収は殆んどない様であるが 100 mg では幾分認められる。しかし筋肉の如く一般に放射能の弱い試料では或る量以上でないと検出に困難を感じることがあるので各組織共灰分量は一応 100 mg で測定することにした。同様に新鮮物は 1 g、乾物は 0.5 g を試料皿に採り 1 cm の距離で測定した。尚新鮮物の場合に、例えば骨と腎臓と胃内容物とでは表面の幾何学的条件は勿論水分含量も著しく異なる故自己吸収の大小により見掛上の count に大きな差があるものと考えられ、又灰化物の count は灰化操作により昇華性の放射性元素が存在する場合には揮散損失することもあり得る。

次に 7 月に獲れたサワラの二例及び 8 月と 9 月に獲れたバシヨウカジキの三例について測定した結果は Table 5 に示す如くである。

即ちこの時季に獲れた汚染魚では肝臓、腎臓、脾臓に放射能が強く検出され、特に 9 月以降に獲れたバシヨウカジキでは後述の如く腎臓に多く放射能が蓄積された傾向があつた。俊鶴丸の調査報告¹⁾によると胃腸の内容物、幽門垂、肝臓の汚染が最も著しい傾向にある。故に体内に於て放射性物質が時日の経過に伴い特定の組織に転移する可能性が考えられるがこの点については後に考察する。汚染魚の胃の内容物にも放射能が認められることより餌料による汚染経路が当然あると思う。

次に汚染サワラ及びバシヨウカジキの皮膚の各部分即ち粘質物、鱗、表皮、真皮について放射能を測定した結果は Table 6 の如くである。即ち鱗が最も強く又体表粘質物にも放射能が認められる。この部分の放射性物質は回游中に汚染海水より直接吸着したものか或は体内に一度摂取されたものが転移したものであるかは興味深い問題である。Table 7 は脊椎骨各部の放射能を測定した結果であるが頭部に近い骨が尾部のものより count が高い傾向が認められる。この事実も或は骨に於ける物質代謝と何等かの関係を示すものかも知れない。次に一番問題である筋肉の放射能は他の組織に比べて弱い。血合肉は常に普

Table 5. Distribution of radioactivity in the various tissues of fish.

Species	Sample	Heart	Stomach	Stomach contents	Pyloric coeca	Intestine	Liver	Spleen	Kidney	Gonad	Gill	Skin	Dark meat	Meat	Bone
<i>Acanthocybium solandri</i> (July 15) No. 1	Fresh	10 \pm 2	12 \pm 1	12 \pm 2	15 \pm 2	7 \pm 1	150 \pm 4	28 \pm 3	138 \pm 4	5 \pm 2	14 \pm 3	20 \pm 3	5 \pm 1	2 \pm 1	6 \pm 1
	Dry	22 \pm 2	45 \pm 2	33 \pm 2	43 \pm 3	28 \pm 1	982 \pm 9	292 \pm 5	597 \pm 3	11 \pm 1	40 \pm 3	58 \pm 3	18 \pm 2	11 \pm 1	21 \pm 1
	Ash	77 \pm 4	140 \pm 3	96 \pm 2	135 \pm 5	118 \pm 3	3624 \pm 11	991 \pm 6	1836 \pm 10	46 \pm 2	52 \pm 3	44 \pm 3	81 \pm 4	24 \pm 2	18 \pm 2
" No. 2	Ash	274 \pm 6	272 \pm 5	216 \pm 4	168 \pm 4	152 \pm 4	2126 \pm 10	651 \pm 6	1372 \pm 6	58 \pm 2	59 \pm 3	33 \pm 2	49 \pm 2	29 \pm 2	2 \pm 1
<i>Istiophorus orientalis</i> (Aug. 23) No. 1	Ash	66 \pm 3	248 \pm 4	16 \pm 1	180 \pm 4	108 \pm 3	443 \pm 4	698 \pm 4	1273 \pm 10	—	31 \pm 2	22 \pm 2	40 \pm 3	31 \pm 3	18 \pm 1
" No. 2	Ash	134 \pm 4	287 \pm 5	99 \pm 3	211 \pm 3	61 \pm 2	924 \pm 5	577 \pm 3	3853 \pm 13	53 \pm 3	60 \pm 3	48 \pm 2	54 \pm 3	39 \pm 1	28 \pm 2
" (Sept. 5) No. 3	Ash	255 \pm 3	192 \pm 3	8 \pm 2	212 \pm 2	—	1275 \pm 5	1554 \pm 13	3653 \pm 13	—	45 \pm 3	148 \pm 5	121 \pm 3	52 \pm 1	36 \pm 1

Fresh matter : C/g. Dry matter : C/0.5g. Ashed matter : C/100mg

通肉より放射能の強いことは Table 8 の如くである。肉の汚染が他の組織に比べて弱いことは既に米国の調査により報告されている^{3), 4)}。

V 各組織の放射性元素の定性分析

汚染サワラ及びバシヨウカジの筋肉, 肝臓, 腎臓並びに第五福竜丸の甲板上で原子灰 (Fisson product) を被った鮫鰭の灰化物を用い, 通常の無機分析法に準じて分属を行つた。その結果は Table 9 の如くである。即ち何れの試料も第Ⅲ属が最も強い放射能を示すことは確かである。鮫鰭では第Ⅰ, Ⅱ属にもかなりの放射能が認められたがこの鰭には魚体には吸収され難い異つた放射性元素の附着している可能性も考えられる。この事は Fig. 6 に示す如く β 線の吸収曲線が魚の各組織のものと著しく異なることよりも推察される。又同一個体でも存在する放射性元素の種類は器官により異なるらしく図の例では特に精巣及び脾臓灰化物の β 線吸収曲線の傾向が他の器官のそれと異つている。この傾向は何れの汚染魚でも同一であるとは云えないが, 魚体内に入つた Fisson product が各器官により撰択吸収される可能性は充分考えられる。

次に汚染サワラの各器官灰化物の放射能の減衰状態について検討した。6, 7 月頃に獲れた

Table 6. Distribution of radioactivity in skin tissues. (C/g of fresh matter)

Species	Mucus	Scale	Epidermis	Dermis
<i>Acanthocybium solandri</i> (July 25)	2±1	21±2	14±2	8±1
<i>Istiophorus orientalis</i> (Sept. 1)	4±1	24±3	18±2	7±1

Table 7. Distribution of radioactivity in vertebra (C/g. Fresh matter)

Species	Abdominal vert.		Caudal vertebra
	Top	Middle	
<i>Acanthocybium solandri</i> (Aug. 23)	14±1	12±2	10±1
<i>Istiophorus orientalis</i> (Aug. 26)	16±1	13±1	9±1

Table 8. Distribution of radioactivity in muscle (*Istiophorus orientalis*)

Date	Body C/10cm	* Muscle C/100mg	* Dark muscle C/100mg
July 18	232±5	9±3	24±4
23	339±4	21±4	52±5
Aug. 17	471±6	12±3	89±4
23	462±4	12±3	52±7
Sept. 6	102±2	8±2	44±5
13	323±5	16±1	74±4
Oct. 12	425±6	23±3	105±3
21	305±5	19±4	82±2
Nov. 11	245±3	28±3	93±4
30	435±7	39±4	152±5

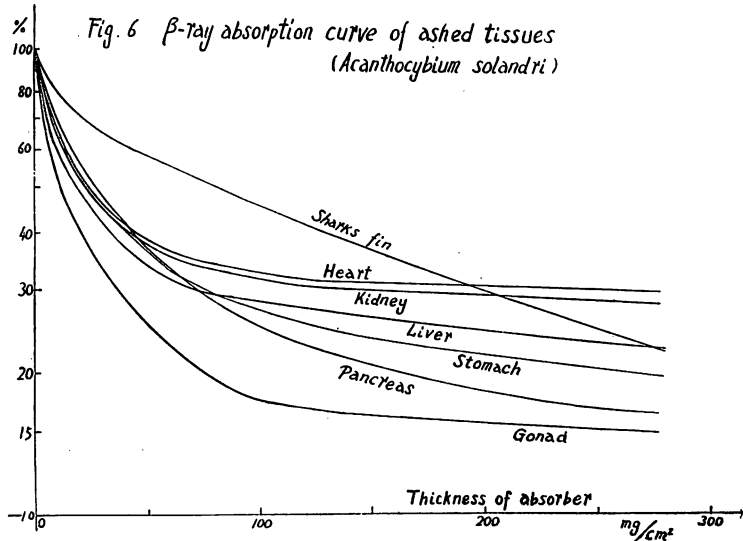
* Ashed tissues

Table 9. Separation of radioelements contained in various tissues. (C/10mg of ashed tissue)

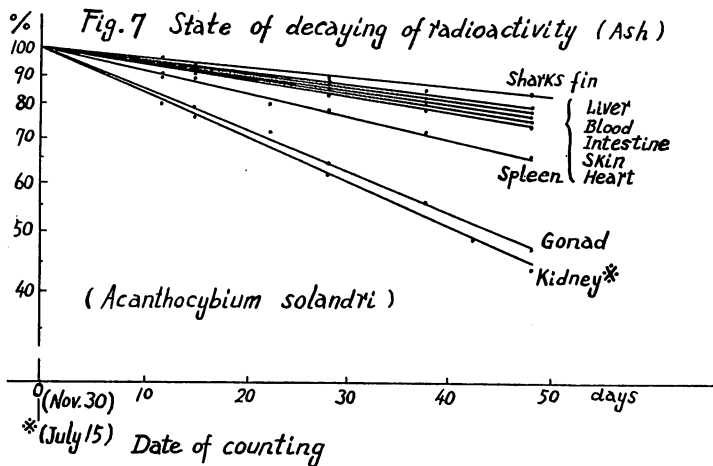
Species	Group Tissue	Original sample	I	II	III	IV	V
<i>Acanthocybium solandri</i> (July 13)	Muscle	6±2	0±1	2±2	4±2	0±1	1±1
	Liver	384±7	42±3	4±2	255±6	4±2	6±2
	Kidney	224±4	6±2	4±2	169±6	5±2	3±2
<i>Istiophorus orientalis</i> (Sept. 2)	Muscle	4±1	1±1	0±1	3±1	0±1	0±1
	Kidney	301±6	20±3	10±2	475±6	8±2	4±2
Sharks fin (See Table 4)		644±8	230±5	181±3	385±6	15±2	23±2

サワラの胃, 腸, 精巢及び肝臓には比較的減衰しやすい物質が含まれていた。即ち Fig. 7 には腎臓の例を示してある。これと同一試料の10月からの減衰状態は図の如く各器官共に略々同様のゆるやかな減衰状態となっている。

ただし精巢及び脾臓は比較的急に



減少する傾向が認められ, 前述の β 線吸収曲線の傾向と関係のあることが推察される。



Ⅵ 体内における放射性物質の転移と生物学的減衰に関する考察

魚の放射能による汚染経路については一般に次の如く考えられる。即ち魚が水爆の爆発と同時に出来た強い放射能を帯びた灰を直接受けて汚染される場合がある。前述の第五福竜丸の鯨鯨はこの例である。一方この灰が海に落ちたり或は珊瑚礁の上に散布された灰が雨等で海に運び出されたりすると、当然この附近の海水自体が放射能で汚染されることになる。かような海水を魚が鰓より体内に取り入れたり或は体の表面に放射性物質を吸着するために汚染する経路も考えられる。更に常識的な経路は魚が汚染された餌を摂取することによる汚染である。これは汚染魚の放射能が前述の如く胃の内容物とか消化吸収器官に比較的多く検出される事実よりしても妥当な考え方と思う。次に一度摂取された放射性物質が体内で如何なる転移をなすかと云う研究試料に漁獲された汚染魚を用いることには多くの問題がある。例えば水爆実験が3月1日より数回に亘つて行はれてをり、漁獲された魚の汚染の時季、場所或は当初の汚染度、体内に存在する放射性元素の種類や量等も不明である故正確な結果を求めることは勿論不可能であるが大凡の傾向は知り得ると思ひ汚染バシヨウカジキを試料として考察を試みた。ここにバシヨウカジキを取り上げたのは前述の如く鹿児島ではこれが最も廃棄率が高く、検査期間の5月より12月にかけて一様に漁獲されていることと漁獲地点が台湾と鹿児島を結ぶ海面に限定され、5、6月に台湾東方海上に現われた群が次第に北上し時季により、この海面内の異なつた地点で漁獲されたものと考えられるからである。一方この海面で採集した海水やプランクトンには殆んど放射能が検出されなかつたことより²⁾、この汚染バシヨウカジキは主としてこの海面以外の地点で汚染されたものと思われるからである。

次に試料の体内における放射能分布の時季的变化を体表 count と放射能の特に強い器官について示すと Fig. 8 の如くである。

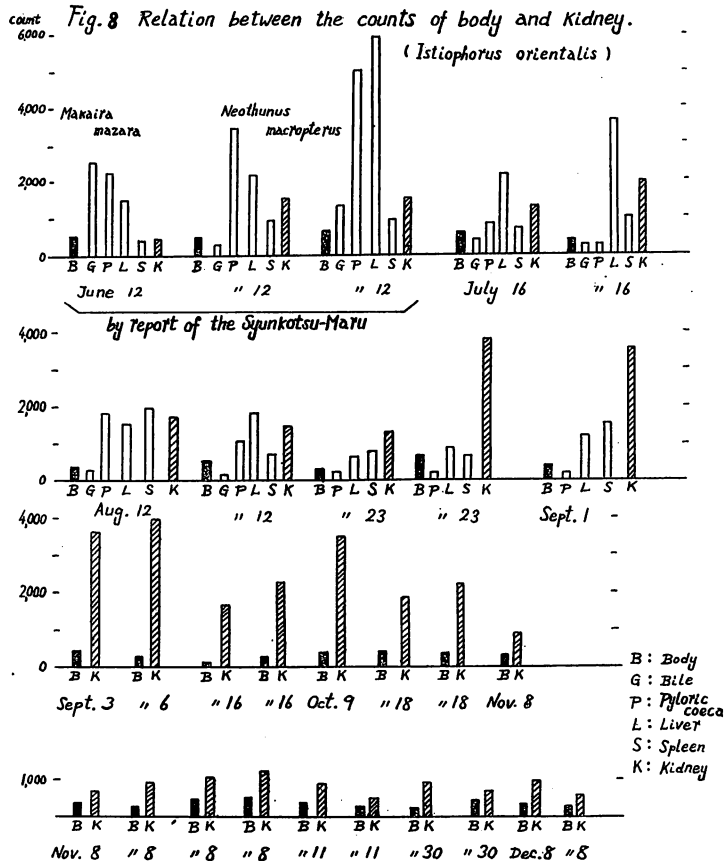
黒線は検査基準により10 cmの距離で測定した体表 count である。他の器官は何れも灰化物100mg当りの count で斜線は腎臓をあらわす。

バシヨウカジキは多く漁獲後直ちに内臓が除去されるが、腎臓は脊椎骨に沿うて腹腔の奥に存在する故通常は除去されないで市場に水揚げされることが多い。従て体表 count と腎臓 count は多くの試料で測定することが出来た。

図において6月の結果は俊鶴丸の調査報告によるものでこれはバシヨウカジキではなくクロカワカジキとキハダの放射能分布である。

即ちその結果によると、幽門垂、胆汁、肝臓及び腎臓の count が他の器官に比べ著しく多くなっている。7月以降は全部バシヨウカジキであるが7～8月では肝臓、腎臓及び脾臓の放射能が強く一般的に幽門垂及び胆汁の放射能は前者よりも弱くなっている。8月の末より9、10月に漁獲されたものでは他の器官に比べ腎臓の放射能が何れも最高を示す傾向となり、更に10月以降には腎臓 count に減少の傾向があるが他の器官よりも依然として高い結果となつている。次に体表 count との関係をみると6月頃には腎臓 count は約2～3倍、7月頃には3～5倍、9月頃には8～10倍で最高の倍率を示し、11、12月には減少し2～3倍となつている。即ちその倍率は6月頃より次第に大きくなり9月頃に最大となり以後再び減少する傾向が認められるのである。

以上の結果から体内に摂取された放射性物質が時季的に消化器官より肝臓、脾臓更に腎臓へと移行した可能性も考えられるのである。元来これ等の器官は高等動物では上皮細胞が発達しており体内に入つた異物の蓄積機能のあることが知られているが魚類にも同様の機能があることも考えられる。又一方これ等は魚類の造血器官でもある⁵⁾ことは体内における放射能の転移上から注目すべきことであらう。更に腎臓は高等動物に比べ一般に発達

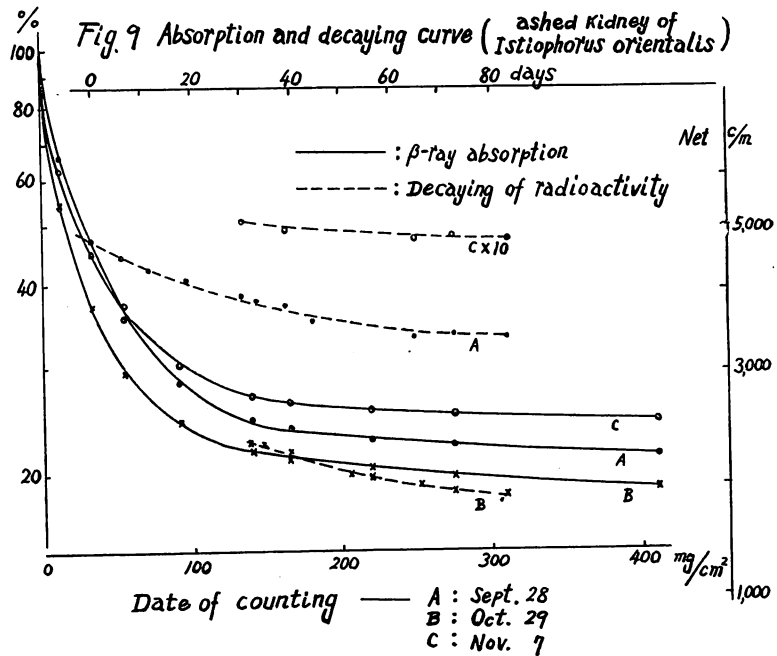


は幼稚であるが排泄器官であることより体内に入つた放射性物質移行の最終的器官の一つとなり、次の段階として放射性物質のあるものは腎臓より体外に排泄される可能性も充分考えられる。

即ち9月から12月に獲れたバンショウカジキは前述の如く同一群のものと考えられるのであるが、此の時季において腎臓の count は他の器官より多く、その count は9月頃に最高値に達し11, 12月には例外なく減少している。この一因として腎臓に多く蓄積された放射性物質が逆に他の器官に移行するため減少すると云うこともあり得るが腎臓の一般的機能より考えてその可能性は少いと思う。

次に腎臓中の放射性物質の物理的な減衰による減少も当然考えられるがこの点について検討を加えたのが Fig. 9 である。

即ち9, 10, 11月に獲れた汚染バンショウカジキの灰化物の減衰曲線を破線で表わした。尚11月の試料(C)は count が他に比べ少ない故計測値を10倍した値で示した。9月の試料(A)の減衰傾向は(B), (C)に比べ当初は幾分急であるが30日で count は約10%, 60日で約20%, 90



日では約25%減少した。又(A), (B)と(C)について β 線の吸収を測定した結果を実線で表わしたが、その結果によると両者の傾向に若干の相違が認められる。このことより考え物理的減衰と同時に腎臓よりの放射性物質の転移にも或は撰択性があるのかも知れないが、11, 12月における腎臓の生物学的減衰に比べその期間における物理的減衰が著しく小さいことは確かである。

VII 汚染魚肉の放射能の除去について

魚体表面を充分に洗滌すれば体表の粘出物、鱗等が除去せられるため、体表の count が減少することは確かであるが、食用とする魚肉より放射能を除去することは実際問題として極めて重要である。次に魚肉加工の工程中における放射能の消長をしらべるため冷凍、

煮熟, 水晒し処理による放射能の移動について検討した。

A 冷凍処理: 汚染バシヨウカジキの切身及び挽肉を $-15^{\circ}\sim-20^{\circ}\text{C}$ で空気凍結し, 2日後に 28°C で解凍し軽く圧を加えて流出するドリツプを採集した。凍結前及び解凍後の肉面の count とドリツプ灰化物の収量及び 100mg 当りの count を示すと Table 10 の如くである。対照肉に比べ凍結処理後の肉の放射能の弱くなっていることは確かで, ドリ

Table 10. Change in counts at the thawing of frozen muscle. (*Istiophorus orientalis*)

Weight of muscle (Dimensions)			Before freezing C/10cm	After thawing C/10cm	Drip (Ash)	
					Yield (%)	C/100mg
Fillet	July. 23	2.25kg (20×20cm)	64±5	57±3	0.069	23±2
		3.55 (20×30cm)	77±3	60±4	0.05	26±2
	Aug. 26	1.03kg (10×10cm)	36±2	29±3	0.07	36±3
		1.79kg (20×15cm)	48±4	43±2	0.05	38±4
Minced meat	Nov. 30		(Dry matter) C/g			
		0.50kg	16±2	C/g 5±2	0.08	30±4
		0.50kg	18±2	10±3	0.08	26±3
		0.50kg (Dark muscle)	63±3	48±2	0.07	38±6
Drip from 1 kg of frozen meat			Coagurated part by heating (Ash)		Filtrate (Ash)	
			Yield (%)	C/100mg	Yield (%)	C/100mg
			0.01	124±2	0.03	13±2

ツプ灰化物には明らかに count が認められ, しかも 100 mg 当りの値は肉灰化物或は煮熟液灰化物よりも幾分高い傾向が認められた。即ち汚染魚肉は凍結解凍処理により肉中の放射能を或る程度 (本実験では 5~7%) 除去することが可能であるが, 一方ドリツプによる冷蔵庫の汚染も考えられる。

B 煮熟処理: 汚染魚の切身及び挽肉を其の重量の 4 倍量の水で 20 分間煮沸し, 煮熟肉及び煮汁の count を測定した結果は Table 11 の如くである。即ち新鮮肉に比べて煮熟肉は乾物 1g 当りの count にはあまり差はないが灰分収量には差がある。其の差が煮汁に移行しこれに放射能が明らかに見出される。又切身より挽肉の煮汁中の灰分量が多い。即ち煮熟処理により肉中の放射能を或る程度 (切身の場合は 10~15%, 挽肉では 20~25%) 除去することが出来る。

Table 11. Change in counts of meat by boiling (*Istiophorus orientalis*)

Date	Weight of sample (g)	Raw meat		Boiled meat		Extract			
		Yield(%) [*]	C/g	Yield(%) [*]	C/g	Yield(%) [*]	C/g	Yield(%) ^{**}	C/100mg
July 23 Fillet	100	22.1	18±2	18.4	15±2	1.64	15±2	0.19	23±2
	200			19.1	16±3	1.49	13±2	0.21	19±2
	400			21.2	19±2	1.18	13±2	0.13	21±2
	600			22.6	18±2	1.31	16±2	0.16	23±2
Dec. 15 Minced meat	500	28.0	17±2	25.1	15±2	3.5	18±2	0.31	26±1
	500			26.6	17±3	4.0	20±1	0.30	23±1

* : Dry matter

** : Ashed tissue

C 水浸漬処理 挽肉に2倍量の水(水温約 10°)を加え24時間放置後濾過し,更に濾液を加熱して水溶性の熱凝固蛋白質を凝固させ,これを Frac. I として濾別した。濾液を Frac. II とし各 Frac. の収量及び灰化物 100mg 当りの count を示すと Table 12 の如くである。即ち水浸漬操作により肉中の放射能を35~40%除き得ることは明かである。

Table 12, Change in counts of minced meat by water extraction.
(*Istiophorus orientalis*)

Weight of samples (g)	Raw meat		Immersed meat		Frac. I		Frac. II	
	Yield(%) [*]	C/100mg	Yield(%) [*]	C/100mg	Yield(%) [*]	C/100mg	Yield(%) [*]	C/100mg
100	1.39	26±3	0.75	21±2	0.04	218±8	0.34	8±3
200			0.92	23±3	0.06	148±7	0.26	3±1
500			0.79	18±2	0.06	98±1	0.54	10±2
100**			0.32	20±1				
500**			0.40	22±2				

Frac. I : Coagulated protein which separated from extract by heating

Frac. II : Filtrate of Frac. I.

* : Ashed tissues ** : 24 hrs. elapsed in stream at about 10°C.

ここで面白い現象は浸漬液中の放射性物質が熱凝固蛋白質区分に非常に強く認められることである。又解凍魚肉のドリップについても加熱処理を行い,熱凝固区分と濾液とに分けた場合も放射能は前者に多く検出されることは Table 10 の如くである。

次に挽肉を流水(約 10°)中で 24 時間水晒した場合は肉中の放射能の 65~75% が除去される結果が得られ,各処理中最も効果的であつた。

VIII 水溶性蛋白質の熱凝固に伴う放射性物質の吸着現象に就いて

前述の如くドリップ並に筋肉浸漬液を加熱した場合に熱凝固蛋白質区分に放射能が極めて強く認められる。この現象は元来該当区分に体内に摂取された放射性物質が生理的に集

積されているというより、本質的には存在する放射性物質が蛋白質に物理的に吸着され易いためであると考えられる。これを確認するため放射能汚染水を用い次の実験を行った。

汚染水の調整：第5福竜丸甲板上で原子灰を受けた蛟鱈（乾物 Ig 当り 1850 ± 10 count）を20～50 倍量の 0.1N-HCl で熱抽出した液を中和し次に遠心分離操作を行って沈澱を除き膠質状態の液を分離した。この液を更に濾過したが、この場合

Table 13. Change in counts of filtrate by filtration of contaminated solution

No. of filter paper (Toyo)	Filtrate	
	Dry matter (C/2cc)	Ash (C/2cc)
Original solution	92 ± 3	90 ± 3
101	90 ± 3	90 ± 3
2	70 ± 3	76 ± 2
5A	69 ± 2	70 ± 3

使用する濾紙の種類による濾液 count の変化を検討した結果は Table 13 の如くである。即ち使用する濾紙の種類により液の透明度は勿論 count も異なることは明らかであるが以下の各実験では東洋濾紙 No. 2 で濾過した汚染水を使用した。

斯様にして調製した汚染水 10 cc (26 ± 4 C/cc) に全く放射能の認められないカツオ及びキハダの筋肉より調整した濃度既知の水溶性蛋白質溶液の一定量を加え、総液量を 100 cc とし沸騰後 3～5 分間加熱した後これを濾過し凝固区分と濾液とに分け前者は充分水洗し各々の乾物及び灰化物について count を測定した。

キハダ筋肉の水溶性蛋白質を添加した場合の結果は Table 14 の如くである。即ち凝固

Table 14. Radioactivity adsorption in contaminated water by heat coagulation of water soluble protien (Yellow fin tuna)

Soluble protein added (%)	Coagulated part				Filtrate			
	Dry matter Yield* C/100mg		Ash Yield* C**		Dry matter Yield* C/100mg		Ash Yield* C**	
0.1	97	146 ± 4	6	185 ± 4	314	15 ± 3	81	37 ± 2
0.5	463	54 ± 3	29	203 ± 3	468	12 ± 2	109	28 ± 2
1.0	974	29 ± 3	59	211 ± 3	836	5 ± 2	167	13 ± 2
1.5	1345	18 ± 2	85	217 ± 4	1063	3 ± 1	195	7 ± 2

* mg, ** Total counts

区分の乾物 100 mg 当りの count は添加量が小さくなる程多く、又その灰化物全量の count は添加量が大なる程多くなる傾向がある。次に濾液灰化物の 100 mg 当りの count は添加量が大なる程少くなる。以上の結果より水溶性蛋白質の熱凝固による汚染水からの放射能の吸着率を算出した。この場合の吸着率は正確に算出することは困難であるから灰化物の収量、count 並びに自己吸収等を考慮した概数で表すとその値は約 85～95% であつて、しかも添加量 0.1 % 以上では吸着率には大差のない結果となつている。

次に以上の実験結果に興味を感じ、卵白及びアルギン酸ソーダの凝固反応に伴う吸着現象について検討した。即ち汚染水 (26 ± 4 count/cc) に卵白とアルギン酸ソーダを各々

ほぼ一定条件で添加し卵白の場合は加熱凝固, アルギン酸ソーダの場合は塩酸にて凝固 (pH2~3) させたものを前同様に処理して count を測定した結果は Table 15 の如くである。

Table 15. Radioactivity adsorption by heat coagulation of egg white and acid coagulation of Na-alginate in contaminated water.

Sample	Added volume (%)	Coagulated part				Filtrate			
		Dry matter		Ash		Dry matter		Ash	
		Yield*	C	Yield*	C**	Yield*	C**	Yield*	C**
Egg white (Heating)	0.1	131	47±3/100mg	5	60±2	238	92±3	141	170±2
	0.5	626	32±2 "	27	72±3	254	61±2	140	135±3
	0.8	1032	25±2 "	44	75±3	278	55±2	164	150±3
	1.5	2086	20±1 "	80	148±4	430	30±2	179	70±2
Na-Alginate (pH 2~3)	0.1	67	10±2/67mg	4	46±2	82	225±4	75	228±3
	0.5	357	4±1 "	21	59±1	160	201±3	91	202±2
	1.0	591	3±1 "	33	64±2	365	188±2	104	187±3
	2.0	1218	2±1 "	73	103±3	687	152±3	160	147±3

* mg, ** Total counts

即ち卵白添加量 1.5 % の場合の凝固区分灰化物の count は他の場合に比べ多く, 又濾液灰化物の count は少くなっているが, 0.1, 0.5, 0.8 % の添加量では大差がない結果となつている。アルギン酸ソーダでは添加量の増加により凝固区分灰化物の count は多くなり一方濾液灰化物の count は少くなっている。

添加量 0.1 % の場合の吸着率は卵白では約 25 %, アルギン酸ソーダでは約 20 % 前後で, 魚の水溶性蛋白質の約 85 % に比べて弱くいづれも濾液に多く放射能が認められる。

次に汚染水 (11±2 count/cc) に活性炭 (和光製 1 級) 及びアルミナ (和光製クロマトグラフ用 200 mesh) の各々一定量を加えた場合の放射能の吸着, 並びに海水の放射能を測定する場合に使用する無機沈澱試薬 (鉄明礬, 塩化バリウム混液) による吸着について検討した。即ち汚染水に両塩類の混合物 (Fe : Ba = 1 : 1) の一定量を加え, 加温した後アンモニアでフェノールフタレンを指示薬とし液が桃色となる程度のアルカリ性とし赤褐色の沈澱を充分析出せしめた後濾過して沈澱と濾液に分けた。尚海水の放射能を測定する場合には, 海水 1L 当り Fe 及び Ba は各々 10 mg 含まれる様に加えるがこれを混合塩類の添加量に換算すると約 0.01% である。以上の各吸着剤は無機物である故, 沈澱, 濾液共に灰化せずに乾物として count を測定した結果は Table 16 の如くである。即ち活性炭, アルミナ共に吸着能は認められ, 前者が後者よりも強く, 添加量 0.1 % の場合の吸着率はアルミナの約 10% に対し約 20% でいづれも濾液の乾物に放射能が強く認められる。

これに対し鉄明礬沈澱試薬を使用した結果では, 濾液よりも沈澱物に放射能が強く認められる。沈澱乾物の単位量当りの count は試薬の添加量が小さくなる程多く, 又 0.5 % 以上の添加では吸着率には大差のない結果となつている。添加量 0.1 % の場合の吸着率は約 50% で魚肉の熱凝固蛋白質の吸着能より劣る事は明らかである。

次に 0.01% の添加量では沈澱物よりも濾液の乾物に放射能が強く認められる。三宅氏⁹⁾によると汚染海水の場合はこの添加量で沈澱物に 70~80% の放射能が吸着されるとのこ

とであるが、本実験の結果では25～30%位しか吸着されていない。勿論海水と調製した汚染水とでは成分組成も異なる故同一に論ずることは出来ないにしても、混合塩類の添加量には充分検討を加える必要があるものと考えられる。

元来この沈澱法は汚染水より放射性物質を分離する方法としては操作が幾分繁雑であ

り、しかも無機物を添加する故灰化物収量が多くなり従つて自己吸収も大きく、又単位量当り強い count の灰化物を得ることが困難である。更にこの方法は汚染飲料水の放射能除去には衛生上不適當と思う。これに対し溶液中の放射性物質が水溶性蛋白質の熱凝固反応によつてそれに非常によく吸着分離されることは汚染水の浄化或は溶液中の無機成分より放射性元素を撰択吸収させて高 count の灰化物を分離する目的にも利用し得る可能性があり興味深い現象である。

Table 16. Radioactivity adsorption from contaminated water by various absorbents.

Absorbent	Added volume (%)	Ppt.		Filtrate	
		Dry matter Yield**	C	Dry matter Yield**	C***
Activated Charcoal (1st class, Wako)	0.1	87	22±2/87mg	109	98±2
	0.5	451	10±2 "	121	60±3
	1.0	898	8±2 "	143	42±2
	1.5	1366	6±1 "	157	34±2
Activated Alumina (200 mesh, Wako)	0.1	93	19±2/93mg	84	100±3
	0.5	476	8±2 "	86	81±3
	1.0	912	6±2 "	88	68±3
	1.5	1388	5±1 "	105	61±2
Fe(SO ₄) ₂ (NH ₄) •12H ₂ O+ BaCl ₂ •2H ₂ O (Fe: Ba=1:1)*	0.1	38	39±2	284	57±2
	0.5	171	56±2	413	32±1
	1.0	301	65±3	619	34±2
	1.5	492	61±3	753	28±4
	0.01	23	28±2	266	89±3

* Fe (10mg) + Ba (10mg) in 1 Liter. ** mg, *** Total counts

要 約

- 1) 鹿児島に於ける廃棄魚の種類はバシヨウカジキ、シイラ、カマスサワラ、キハダで5, 6月頃にはシイラが多く廃棄され8月以降は殆んどバシヨウカジキが廃棄されている。
- 2) 廃棄魚の漁獲された地点を時季的に考えると、5月に台湾東方海上に現れたものが次第に北上し8, 9月には鹿児島県本土に達し、更に9月から11月まで依然として沿岸定置網で漁獲されている。この間において10, 11月に大島の西方海上に4～5ヶ月の間において再び汚染魚が多く漁獲されたが、この群には鹿児島から対島暖流に沿つて北上し済州島附近で逆に南下した群を含むものと考えた。
- 3) 100 count, 10 cm の検査基準に対し魚体の幾何学的条件即ち測定面積、魚体の厚さ及び測定距離により見掛け上の count に著しい差のあることを明かにした。
- 4) 魚体各組織の放射能分布は一般に肝臓、腎臓、脾臓に特に強く、肉部は血合肉が普通肉より強く又皮膚では表皮、脊椎骨では頭部に近い部分に強い傾向が認められた。
- 5) 各組織に含まれる放射性元素は第Ⅲ属が最も強く又放射能の減衰状態及びβ線吸収

曲線より考えて、魚は Fission product より放射性元素を撰択吸収するらしく又臓器により存在する放射性元素の種類が異なる傾向も推察された。

6) 魚体内に吸収された放射性物質は時日の経過と共に特定の臓器、特に腎臓に多く転移蓄積され、それが又次第に排泄される傾向について考察した。

7) 魚肉中の放射能は、冷凍、煮熟、水晒し処理により或程度除去することが出来、特に流水中で水晒した場合は 50 %以上が流出する。

8) 汚染水中の放射能は魚肉の水溶性蛋白質を加えて加熱した場合、その熱凝固物に非常によく吸着 (80 % 以上) される事実を認めた。この吸着分離能は卵白及アルギン酸ソーダの場合よりも強力である。更に鉄明礬試薬の放射能吸着能はアルミナ、活性炭のそれより強いが、上記の魚肉水溶性蛋白質の場合に比べると弱い。

終りに御援助御指導を賜った本学部長山本清内教授、高田幸二教授、金森政治教授、文理学部鎌田政明助教授、鹿児島市保健所山本利夫氏並に実験に協力された桜井真澄氏に厚く御礼申し上げる。

Résumé

1) At the fish market in Kagoshima, the species of "the waste fish" — the fish which was enforced to cast away on account of its being contaminated by radioactivity — was *Istiophorus orientalis*, *Coryphaena hippurus*, *Acanthocybium solandri*, and *Neothunus macropterus*. During the term from May to June most of the waste fish was consisted of *Coryphaena hippurus*, and since August was all most of *Istiophorus orientalis* that was cast away as waste fish.

2) Seasonal variation of the fishing ground in which the waste fish was caught was as follow: —

After emerging from the eastern sea front of Formasa in May it shifted gradually to the north; in August and September it reached the southern coast of Kagoshima Prefecture and during the term from September to November it was almost confined within this district.

On the other hand, at the western region of Ōshima, the seeming lapse into disappearance of the contaminated fish during the three months of July to September was revived in October and November.

But it was supposed that among these groups there were those which reversely ran down from the neighbourhood of the Saishu Island after migrating from Kagoshima to north along the Tsushima Current.

3) As to the credibility of the inspection standard of "100 count by 10 cm distance" it was confirmed that the seeming count value was comparatively

unstable and not slightly influenced by the geometrical conditions of the body, namely:— the dimensions, thickness of the sample and the estimation distance (the distance between the sample and mica).

- 4) As to distribution of radioactivity on each tissue of the waste fish, generally, it was concentrated to liver, kidney and spleen. As to the muscle, it was stronger at the dark muscle than at the ordinary one, and in the case of the skin tissue it was concentrated to the epidermis, and in vertebra, it become stronger as the estimating part approached to the head part.
- 5) It was ascertained that the radioelements absorbed each tissue was most strong at III group, and that, considering from the state of decaying and the absorption curve of β -ray, the specific kinds of the radioelements was to be absorbed by the fish from the fission product, and that the kind of the absorbed radioelements varied with the difference of the each organ.
- 6) Radioelements absorbed in the fish body had the propensity to be removed, with the lapse of time, to the special organ, especially to the kidney, and after being accumulated there, to be gradually excreted out of the body.
- 7) It was ascertained that it was not impossible to remove the radioactivity of the fish muscle by treating it through the process of freezing, boiling, and water extraction, and that the most part of radioactivity, when it was boiled in the water soluble protein solution of the fish meat, was to be removed to the heat coagurated part of that, and its adsorption capacity was greater than that of the egg white, Na-alginate, activated charcoal, alumina, and complex salt of ferrous ammonium sulphate.

文 献

- 1) 水産庁 : ビキニ海域調査, 未発表
- 2) 黒木敏郎, 田ノ上豊隆 : 本誌, 本号, 141
- 3) V.I. KNOBF : *Studies of radioactivity in fish from White Oak Lake and the Clinch River*, ORIVL-1031, July 9 (1951)
- 4) Applied Fisheries Laboratory, Univ. of Washington : *Radiobiological survey of Bikini, Eniwetok, and Likiep Atolls*, AECD-3446, July 12 (1950)
- 5) H. JORDAN : "Downeys Handbook of hematology" 2. 699 (1938)
- 6) 三宅泰雄 : 講演(於鹿児島市) 10月 (1954)