

美保湾・隠岐諸島周辺海域の水質，とくにウラン含有量について

望月 常一*

Chemical Feature of the Sea Water in the Miho Bay and around the
Oki Islands, with the Special Reference to its Uranium Contents

By

Tsunekazu MOCHIZUKI

Abstract

This paper deals with the uranium contents of the sea water in the Miho Bay and around the Oki Islands, together with the general description of physical and chemical characteristics of the water. The uranium contents vary from 1.9 to 2.6 ppb at the surface water and from 2.5 to 3.0 ppb at the bottom water in the Miho Bay; from 2.5 to 2.9 ppb at the surface water and from 2.9 to 3.4 ppb at the bottom water around the Oki Islands. Uranium-chlorine ratio of the sea water around the Oki Islands shows about the same values with that of the standard sea water, but in the Miho Bay especially in the surface water it shows significantly lower values than that of the standard sea water as in the brackish lake, Naka-umi. A relative excess of chlorine over uranium or a relative poverty of uranium to chlorine may be explained by an extraction of uranium with the changes of the physical and chemical condition by mixing of sea water and fresh water.

1. 緒 言

筆者は1967年以降，安道湖・中海・美保湾を対象とした堆積学的研究の一環として，これらの湖水および湖泥中の微量元素，特にウランの分布などについて調査研究を行ってきた。その概要はすでに共同研究者とともに発表したとおりであるが，研究の進展に伴って，これら地域におけるウランその他の微量元素の地球化学的挙動を解明するには，さらに外洋の海水をも含めた総合的な解析が必要となった。幸にも1968年8月に，東京大学海洋研究所所属の淡青丸によって，この目的を含めた，美保湾～島根半島沖～隠岐諸島周辺の海洋観測が行なわれることとなり，筆者もこれに参加して研究に従事することができた。その結果，海水中のウラン含量と塩素イオン濃度との間にやや特徴ある関連を見出したので，この点に関する若干の考察をおこないさらにウラン含量の深度別変化，ならびに水温，水素イオン濃度の変化などについてその概要を報告する。

なお，本研究にあたっては，地質部水野技官から全般にわたって指導を受け，また，海洋研究所中井俊介，蓮本浩志両技官からは採水に関して多大な援助をいただいた

* 技術部

た。これらの方々に対して，心から謝意を表する。

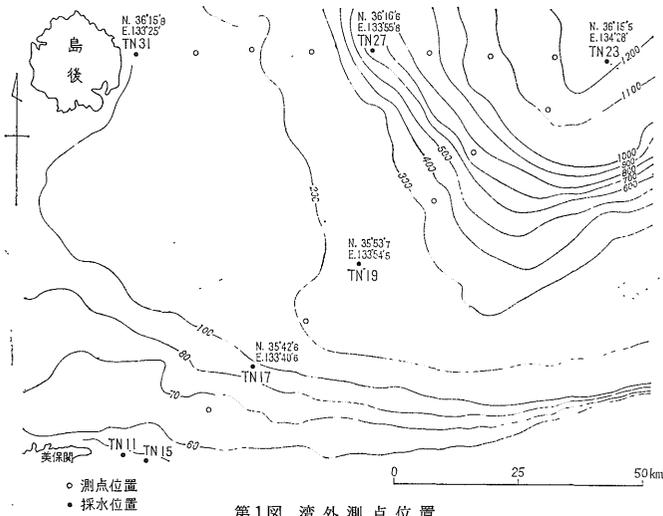
2. 試料の採取

この研究に用いた試料は前述のように1968年8月東京大学の淡青丸による海洋調査に際して得られたものである。これらの採水地点を第1図および第2図に，また比較試料を採取した中海の測点を第3図にまとめて示した。測点は，美保湾内（TN2，TN4，TN6，TN8，TN12），湾内水と対馬海流とが接する水域（TN11，TN15），および湾外（TN17，TN19，TN23，TN27，TN31）（の三つの水域の比較検討を試みようと考えて選定した。測点数は美保湾内において5測点（8試料）隠岐諸島周辺水域においては7測点（42試料）であった。

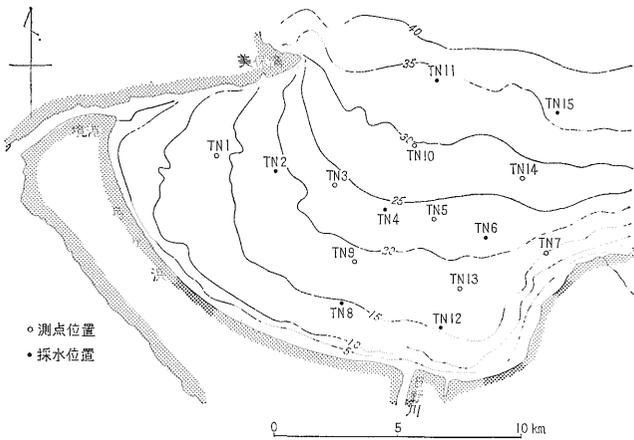
各測点では試料採取にナンセン転倒採水器を用い，水深0～50mの間は5～10m間隔，50m以深は50～100m間隔に採水した。また採水と同時に，転倒温度計で水温を測定した。

3. 分析方法

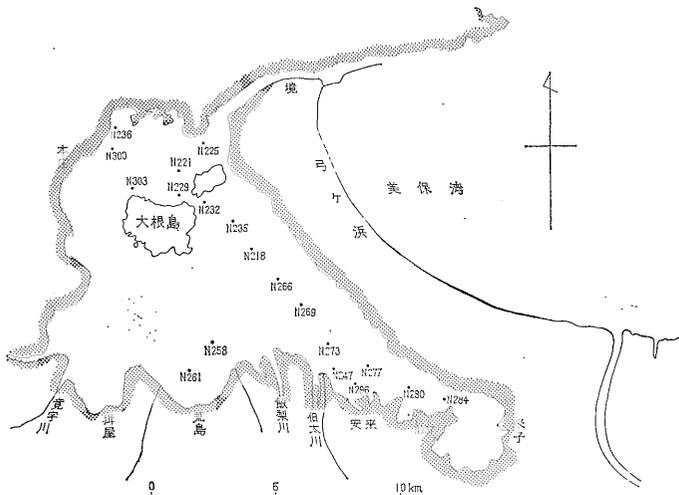
採取した試料水は250mlポリエチレン製白色試薬びん2本に移し，それぞれ船上（現地）分析用，実験室における分析のための持帰り用とした。これらの試料について



第1図 湾外測点位置



第2図 美保湾内測点図



第3図 中海測点位置

以下の分析を行なった。その方法はすでに定式化されているのでここではその概要を記載する。

3.1 船上分析

pH: 比色法を採用した。

Ca²⁺ および Mg²⁺: EDTA滴定法により定量した。

Cl⁻: モール法により定量した。

3.2 室内分析

採水直後に塩酸 (1+1) 20ml を加えて持帰る。

Uの定量: 試料水に燐酸アルミニウム塩を加えてウランをアルミニウムに吸着共沈させ、汙過した沈殿を少量の硫酸で溶解して pH を 1.0~1.5 に調節する。この溶液を (SO₄ 形) 陰イオン交換樹脂を充填したカラムに通し、ウランを樹脂に吸着させる。この樹脂からウランを 1 N, HCl で溶離し、以下岩石中のウラン定量法と同様に、ケイ光法によってウラン含有量を求めた。

4. 一般的な水質

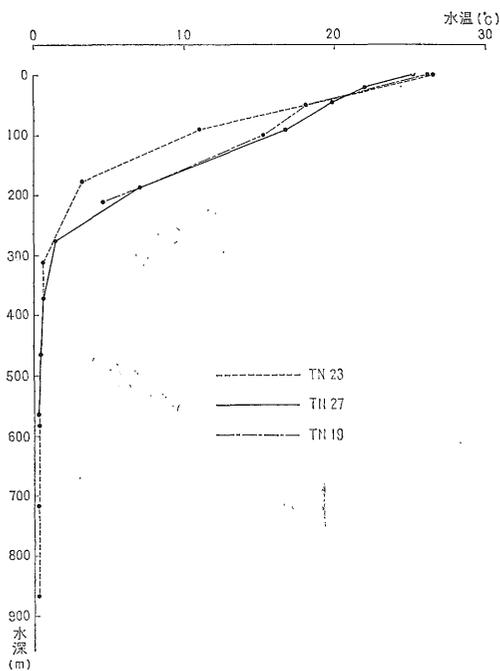
4.1 水温と垂直分布

水温の垂直分布は第4図 a と第4図 b に示す通りである。美保湾内では、表面水温は 27°C 前後で、これから深度 10m 位までの間に約 4°C の水温低下がみられるが、10m 以深の部分では低下はほとんど起らず、ほぼ一定の水温を示す。

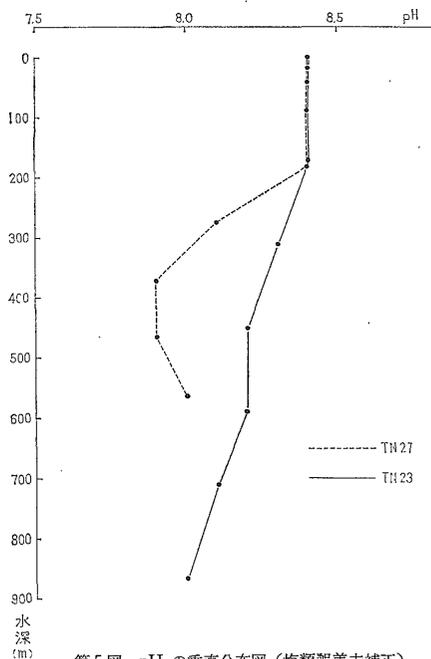
湾外においては、表水層は 26°C 前後で、深度 50m 前後までの間に徐々に水温が低下する。これと対称的なのが変水層でそれ以深の深度 80~270m 前後までの範囲で 18°C 前後から 1°C 前後までと急激に水温が低下する。270m 以深では、1~0.1°C とほとんど、水温の変化はみられなくなる。

4.2 pH の垂直分布

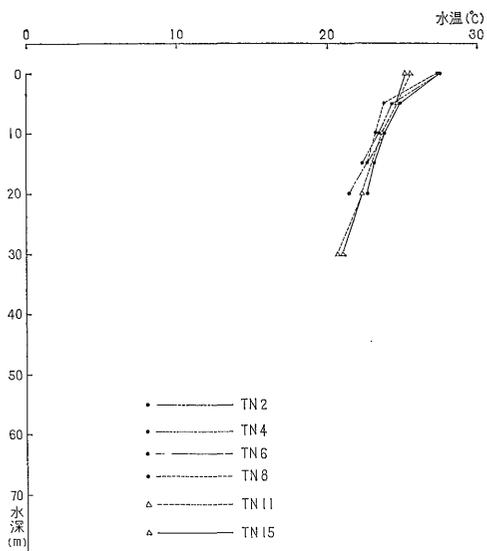
第5図に示す通り、pH の変域は 8.0~8.4 の間におさまり、比較的变化に乏しい。美保湾内では、表水層から底水層に至る pH の値は、全層にわたってほぼ一定であるが、湾外では、表水層が変化せず、8.4 であるのに対し、200m 以深



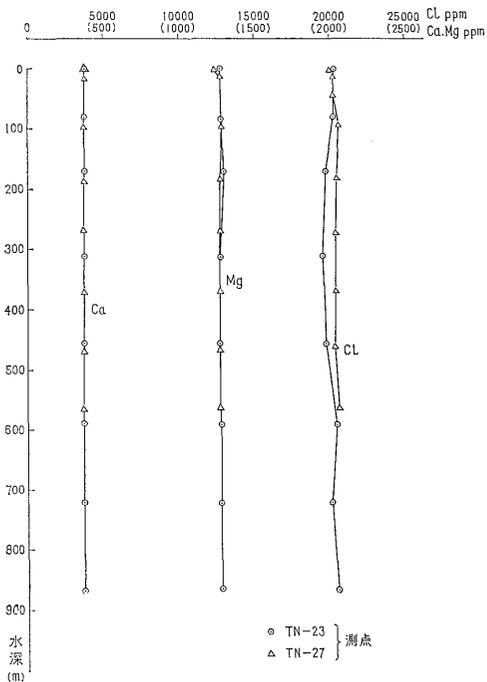
第4図a 湾外における水温の垂直分布図



第5図 pHの垂直分布図（塩類誤差未補正）



第4図b 美保湾内における水温の垂直分布図



第6図 湾外におけるカルシウム・マグネシウム・塩素の垂直分布図

から底水層にかけては8.3~8.0と、やや低めの値を示す。底水層のpHが低い値をとる原因についてはデータがない。しかし、その一つの要素として、プランクトンの遺骸などをはじめとする種々な有機物が分解して炭酸を生じる影響を考慮されなければならないであろう。

4.3 カルシウムイオン, マグネシウムイオンの垂直分布

カルシウム, マグネシウムは全層にわたってほぼ均一に分布している。塩素イオンとよく正の相関関係を示しているので詳細は省略し第6図にその一例を示すにとどめる。

4.4 塩素イオンの垂直分布

湾内の試料については, 表水層で 14.7~19.0 g/l で15~20m 層は 19.3~20.0 g/l, といくらかの増加がみられた。TN 2の地点では, 干満によって中海より排出される水の流出の影響によるものと考えられる。

湾外の試料については表水層から底水層まで全層にわたりほとんど変化がみられない。

第1表 湾内海水中の深度別ウラン含量

深度 (m)	ウラン含量 (ppb)					平均値	標準偏差
	2	4	6	8	12		
測点	2	4	6	8	12		
0	2.1	1.9	2.6	2.4	2.3	2.3	0.3
5	2.7	2.8	2.5	2.7	2.8	2.7	0.2
10	2.8	2.8	2.8	2.9	3.0	2.9	0.1
20	2.8	2.7	2.5			2.6	0.1

5. 水中のウランについて

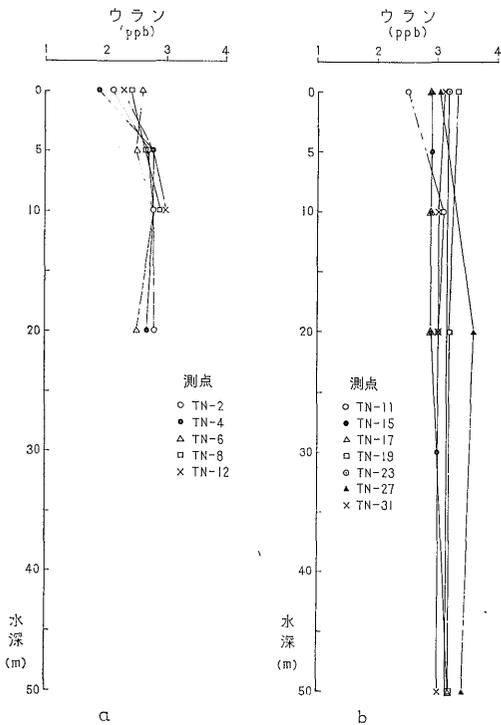
5.1 ウランの分布

湾内の試料水の深度別ウラン含量を第1表, 第7図に示す。表水層において, 標準偏差がやや大きいことについては, いくつかの要素が考えられるが, 可能性のもっとも大きいのは, 河川水の流入の影響である。深度20mの試料が少ないので, 断定はくたせないが, 10m以深では, ウラン含量はあまり大きな変化を示さないものと推定される。

湾外, すなわち隠岐諸島周辺水域における深度別ウラ

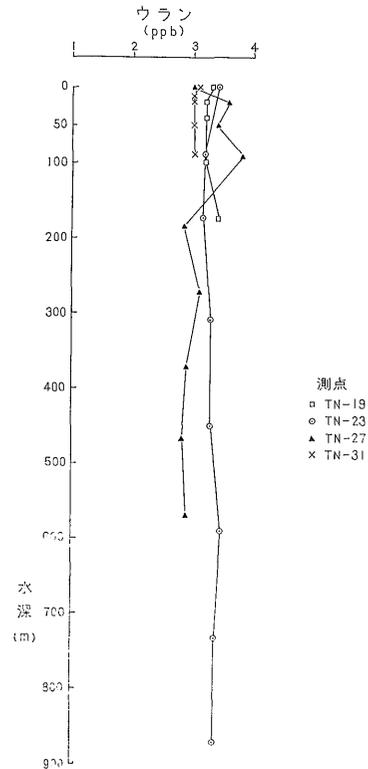
第2表 湾外海水中の深度別ウラン含量

深度 (m)	ウラン含量 (ppb)						平均値	標準偏差	
	11	15	17	19	23	27			31
測点	11	15	17	19	23	27	31		
0	2.5	2.9	2.9	3.3	3.4	3.0	3.1	3.0	0.3
5	2.9	2.9						2.9	0.0
10	3.1	2.9	2.9			3.0		3.0	0.1
20	3.0	2.9	2.9	3.2		3.6	3.0	3.2	0.3
30	2.9	3.0						3.0	0.1
50			3.2	3.2			3.0	3.2	0.2



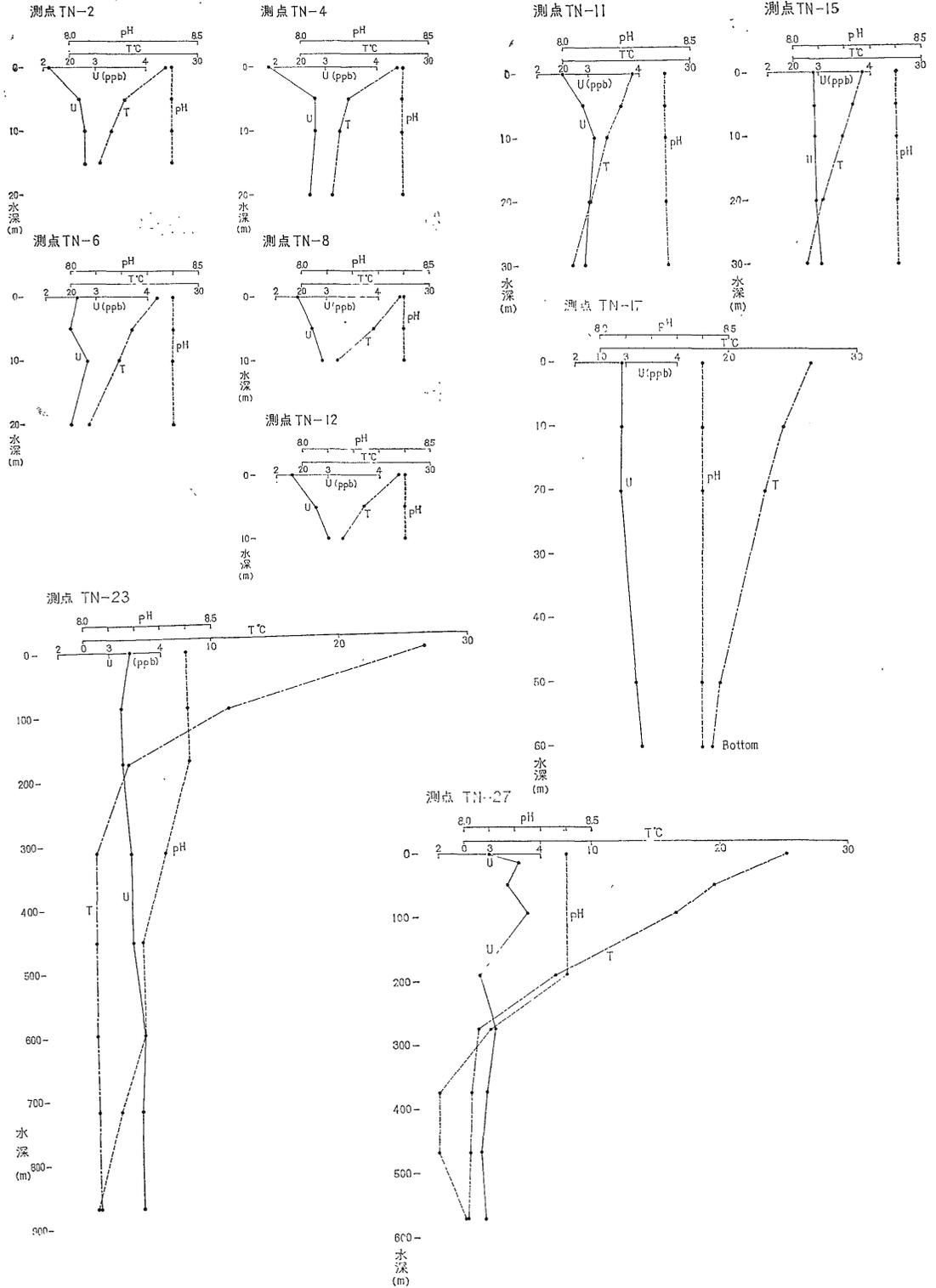
第7図a 湾内における深度別ウラン分布

第7図b 湾外における深度別ウラン分布0~50mまで



第8図 湾外における100m以深の深度別ウラン分布

美保湾・隠岐諸島周辺海域の水質，とくにウラン含有量について（望月常一）



第9図 各測点におけるウラン・水温・pHの垂直分布

ン含量は第2表, 第8図に示した通りである。若干の変動はあるものの, 深度約900m位までは, 大体一定とみなしうる。この値は環境としては相当差異があるにもかかわらず, 東京湾で得られた既知のデータ(水野篤行ほか, 1969), すなわち, 表水層で平均 2.0ppb, U 底水層で 3.0~3.2ppb U とくらべてほとんど変わっていない。また, 杉村(1964)の研究でも, 海水中のウラン含量は一般に500~1,000mの深度で極大層が存在するほかは, 深度による変化は顕著にあらわれていないことが指摘されており, 今回得られたデータも大局的にはこの傾向と矛盾していない。ただし三陸沖の黒潮, 親潮混合水域では深さと共にウラン含量が増大する例が三宅・杉村(1963)らによって明らかにされており, 同氏はこの特殊な例が生物学的濃縮に起因する可能性を示唆している。このような傾向の出現頻度の考察や, 原因の追求について今回の観測に関する限りでは, 測点数の制約も加わって, 有力な新見を得ることはできなかった。

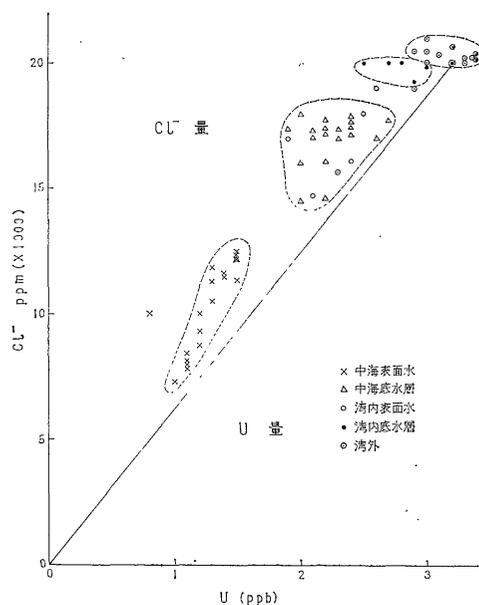
第3表 湾内・湾外海水中のウランと塩素の含量

場 所	場 所	
	湾 内	湾 外
試 料 数	18	42
平均ウラン含量 (ppb)	2.6	3.2
同上標準偏差の不偏推定値 (ppb)	0.3	0.3
平均塩素含量 (ppb)	19,000	20,000
同上標準偏差の不偏推定値 (ppm)	1,500	790

湾外海水中のウラン・塩素平均値はTN11, TN15は除く。

第4表 中海水中のウランと塩素の含量

場 所	場 所	
	表 面 水	底 水 層
試 料 数	19	20
平均ウラン含量 (ppb)	1.2	2.2
同上標準偏差の不偏推定値 (ppb)	0.2	0.3
平均塩素含量 (ppm)	10,000	16,000
同上標準偏差の不偏推定値 (ppm)	940	390



第10図 ウランと塩素含量の相互関係

5.2 ウラン含量と塩素含量との関係

第3表, 第4表に示した, 美保湾内, 湾外, 中海の各試料のウラン含量, 塩素含量の相互関係を図示すると, 第10図が得られる。この図上で, 湾外における標準的海水のウランと, 塩素の平均含有量はそれぞれ 3.2ppbU, 20,000ppm Cl⁻とした。これと比較すると 湾外, 湾内底水層の分析値は, ほぼこの標準値の周辺に分布するが, 中海底水層, 湾内表水層, 中海表水層ではいずれもウラン, 塩素含量が有意に減少し, 特に, 中海表水層ではその減少傾向がきわめて顕著である。これらは, 直接的には淡水の混入によりひきおこされた変化であると考えられ, 標準的海水と試料との間の含有量比率は, 混入の一つの指標とみなすことができよう。しかし, 注意しなければならないのは, 湾外海水中の平均値と原点を直線で結ぶと, ほとんどの測定値がこの直線より左上半部の領域にプロットされることである。標準海水が, ウラン, 塩素を全く含まない淡水で希釈されたとすると, 測定値はこの直線上に乗り, 統計的なばらつきを考慮しても, この直線に沿って両方の領域に均等に分布するはずである。この仮定に反して, 上半の領域に分布がかたよることは, ○単位ウラン量に対して塩素量が過剰になる または, ○単位塩素量に対してウラン量が不足になるようなモデルを設定して考察する必要が生じる。

一方, これまでの測定により, 中海および美保湾に注ぐ河川水中のウラン含量は 0.05~0.1ppb 塩素含量は

第5表 各測点における水質分析結果

採水地点	深度 (m)	水温 (°C)	pH	Ca ²⁺ (×100) (ppm)	Mg ²⁺ (×100) (ppm)	Cl ⁻ (×1,000) (ppm)	U (ppb)	
湾内	TN2	0	27.5	8.4	3.50	9.7	14.0	2.1
		5	24.3	8.4	3.70	11.2	19.0	2.7
		10	23.4	8.4	3.90	12.4	19.0	2.8
		15	22.3	8.4	3.90	12.4	20.0	2.8
	TN4	0	27.6	8.4	4.09	10.1	17.0	1.9
		5	23.9	8.4	4.09	12.3	18.0	2.8
		10	23.1	8.4	4.00	12.0	19.0	2.8
	TN6	0	26.7	8.4	4.50	11.5	19.0	2.6
		5	24.8	8.4	4.28	11.5	19.0	2.5
		10	23.9	8.4	3.31	12.6	19.0	2.8
	TN8	0	27.7	8.4	4.09	9.8	16.0	2.4
		5	25.6	8.4	4.49	11.0	18.0	2.7
10		22.9	8.4	4.28	11.9	19.0	2.9	
TN12	0	27.6	8.4	4.09	12.3	18.0	2.3	
	5	24.9	8.4	4.28	12.5	20.0	2.8	
	10	23.1	8.4	3.89	13.0	19.0	3.0	
湾外	TN11	0	25.4	8.4	4.09	12.1	15.0	2.5
		5	24.5	8.4	4.28	12.2	19.0	2.9
		10	23.3	8.4	3.89	12.4	19.0	3.1
		20	22.1	8.4	3.70	12.5	20.0	3.0
		30	20.8	8.4	3.70	12.6	20.0	2.9
	TN15	0	25.3	8.4	3.89	12.4	20.0	2.9
		5	24.6	8.4	3.89	12.4	20.0	2.9
		10	23.8	8.4	3.89	12.5	20.0	2.9
		20	22.1	8.4	3.89	12.5	20.0	2.9
		30	20.9	8.4	3.89	12.5	21.0	3.0
	TN17	0	26.3	8.4	3.89	12.6	20.0	2.9
		10	24.2	8.4	3.89	13.0	20.0	2.9
		20	22.9	8.4	3.89	12.6	19.0	2.9
		50	19.3	8.4	3.89	13.0	19.0	3.2
		Bottom	18.7	8.4	3.89	12.7	20.0	3.3
	TN19	0	26.3	8.4	3.89	12.7	20.0	3.3
		20	21.7	8.4	3.89	12.8	20.0	3.2
		50	18.0	8.4	3.89	13.2	20.0	3.2
		100	15.2	8.4	4.09	13.2	20.0	3.2
	210m	Bottom	4.5	8.3	4.09	13.0	20.0	3.4
	TN31	0	26.4	8.4	3.89	12.0	20.0	3.1
		10	24.3	8.4	3.89	12.6	20.0	3.0
		20	22.3	8.4	3.89	12.5	20.0	3.0
		50	18.7	8.4	3.89	12.7	20.0	3.0
Bottom		14.9	8.4	3.89	12.7	20.0	3.0	
TN23	0	26.6	8.4	3.89	12.8	20.0	3.4	
	89	11.1	8.4	3.89	12.9	20.0	3.2	
	178	3.2	8.4	3.89	13.0	19.0	3.2	
	314	0.6	8.3	3.89	12.9	19.0	3.3	
	451	0.4	8.2	3.89	12.9	19.0	3.3	
	859	0.26	8.2	3.89	12.9	20.0	3.5	
	720	0.18	8.1	3.89	12.9	20.0	3.4	
	868	0.15	8.0	3.89	12.9	20.0	3.4	
TN27	0	25.2	8.4	3.89	12.5	20.0	3.0	
	18	22.7	8.4	3.89	12.8	20.0	3.6	
	47	19.7	8.4	3.89	—	20.0	3.4	
	93	16.7	8.4	3.89	13.0	20.0	3.8	
	184	7.1	8.4	3.89	12.9	20.0	2.8	
	277	1.16	8.1	3.89	12.9	20.0	3.1	
	371	0.58	7.9	3.89	12.8	20.0	2.9	
	465	0.37	7.9	3.89	12.8	20.0	2.8	
	567	0.26	8.1	3.89	12.8	20.0	2.9	

14~16ppmであることが知られている(この塩素含有量は標準海水とくらべて無視できる値である)。したがって、相対的に過剰となっている塩素の量を河川水からの供給に求めることはできない。したがって、この場合は塩素、ウラン量の変動を、標準海水に対する淡水の混入という観点でみるかぎり、希釈に伴う物理、化学的条件の変化に伴って、ウランが水系外に逸脱している可能性が最も濃くなる。その機構については、さらに将来検討しなければならない領域に属しているが、特に淡水の流入によってひきおこされる物理、化学的条件の変化をさらに追求する必要がある。もう一つの側面としては、生物学的なウランの濃縮がどの程度おこりうるものか、具体的なデータ蓄積する必要がある。今後、問題の解明にあたっては、以上の諸点にわたる一層の吟味が不可欠のものとなろう。

水温、塩素、ウラン含有量を測点ごとにまとめた分布図を第9図に示す。

6. むすび

中海、美保湾、隠岐列島周辺の海洋調査に際して、ウランを中心として行なった海水、汽水の化学分析と pH、水温観測の結果を中間的にまとめた、湾内表層部ではウラン含有量がやや分散するが、これに対して湾外の試水では深度によるウラン含有量の有意差は認められない。

ウランと塩素の含有量比からは、湾外の試料を除き、標準海水を淡水で希釈した場合の量比線に対し、分析値

のほとんどが、相対的にウラン不足、塩素過剰の領域に落ちる。今回の調査では、まだその原因、機構を考察するだけのデータが得られていないので、今後、淡水、汽水域を含め、堆積物の性質とも関連させて、資料の充実をはかってゆく必要がある。

(昭和43年8月調査)

引用文献

- 三宅泰雄(1954): 地球化学, p. 1~386, 朝倉書店, 東京
- 水野篤行・関根節郎ほか(1969): 宍道湖, 中海底泥中のウラン分布, とくに堆積環境との関係, 地調報告, no. 232, p. 317~352
- 日本化学会編(1958): 地球化学, p. 1~491, 実験化学講座14, 丸善K. K., 東京
- 関根節郎・望月常一・阿部智彦(1964): 岩石中のウラン分析法, 地質調査所月報, vol. 15, no. 7, p. 24~28
- 管原 健(1962): 海洋の微量元素, 日本海洋学会誌, 第20周年記念号, p. 577~589
- 杉村行勇(1964): 海洋環境におけるウランの化学的行動, 日本海洋学会誌, vol.19, no. 4, p. 32~38
- MIYAKE, Y. & SUGIMURA, Y. (1963): Uranium and radium in the western North Pacific waters. *Koji Hidaka Sixt.eth Years Anniversary Paper.* p. 1~5, Tokyo