

陸奥湾の熱収支 — II (移流による熱輸送と海水更新規模の試算)

仲村 俊毅

はじめに

前報(陸奥湾の熱収支—I)⁽¹⁾では、茂浦地先の海面水温を用いて、海面における熱交換量の平年状態を記述した。本報告では陸奥湾全体、さらに、東湾と西湾に分けて熱収支を論じ、主として移流による熱輸送について記述し、さらに熱輸送の観点からの海水更新規模を試算した。

熱収支は大きく分けて、(1)海面を通じての熱交換、(2)移流の2つに分けられる。この中で(1)の海面を通しての熱交換量については、日射量、気温その他の気象要素や、水温を測定することで、量的に把握することが、ある程度可能である。(2)の移流には、海水交換、陸水流入等の物理過程が含まれる。これ等は實際上、測定が難しく、実態の把握は困難である。本報告で用いる移流ということばは、上記の物理過程のいくつかを全て含んだものとし、熱的には、実際に生じた熱量変動から(1)の海面を通じての熱交換量を引いた残差として定義した。

資 料

昭和49年11月、同50年3、4、5、7月の海洋観測結果(陸奥湾漁業開発基本計画調査報告書、昭和49年、50年)。青森県気象月報(昭和49年11月号~同50年9月号)。日射量については青森地方気象台の資料。および前報⁽¹⁾で用いた資料。

計算式および計算方法

計算式については前報⁽¹⁾に示したものと同一。湾全体の熱量の算出には、上記計5回の海洋観測結果から、各地点の鉛直平均水温を単純平均して、湾の容積を掛けるという、粗い方法を用いたが大まかな見積りを行ううえでは充分と思われる。海面における熱交換量算出に必要な海面水温は、茂浦地先の表面水温(昭和49年11月~50年7月)を用いた。気象要素のうち、相対湿度、海面気圧雲量については平年値を用いたが、他は実測値により計算した。海面反射率については前報⁽¹⁾の表1の数値を用いた。

本文中に用いられる記号

ΔQ : ある期間内の熱量の変化量 Q_{in} : 日射による受熱量
 Q_b : 有効逆放射による熱量 Q_e : 蒸発の潜熱 Q_h : 顕熱
 Q_{out} : Q_b , Q_e , Q_h などで失われる熱量 Q_{met} : $Q_{in} - Q_{out}$
 R : 移流による熱量(残差)…… $R = \Delta Q + Q_{in} - Q_{out}$ で定義される
熱量の単位はすべて cal/cm^2 であり、受熱を正、放熱を負としてある。

結 果

表1に陸奥湾全体についての熱収支計算結果を示した。また、各期間の長さがまちまちであるので、1日当りに換算した値も示した。日射による受熱量は冬季に小さく、夏季に大きい。一方、放熱量は、有効逆放射、潜熱、顕熱ともに冬季に大きく、夏季に小さい。特に水温より気温が高くな

表1 熱収支計算結果(湾全体) 単位は $g - cal$

期 間	$\Delta Q \times 10^{15}$	$Q_{in} \times 10^{15}$	$Q_{out} \times 10^{15}$	$Q_{met} \times 10^{15}$	$R \times 10^{15}$
49年11月19日から50年3月13日	-385.4	222.0	-770.9	-548.9	163.5
50年3月14日から50年4月24日	155.2	204.0	-164.2	39.8	115.4
50年4月25日から50年5月15日	109.8	111.4	-50.6	60.8	49.0
50年5月16日から50年7月24日	531.8	401.3	-81.0	320.3	211.5

$Q_{in} \times 10^{15} / \text{日}$	$Q_b \times 10^{15} / \text{日}$	$Q_e \times 10^{15} / \text{日}$	$Q_h \times 10^{15} / \text{日}$	$Q_{met} \times 10^{15} / \text{日}$	$R \times 10^{15} / \text{日}$	$(R / Q_{met}) / \text{日}$	$(R / (R + Q_{in})) / \text{日}$
1.95	-2.40	-2.18	-2.18	-4.81	1.43	-	42%
4.98	-2.15	-1.48	-0.37	0.98	2.81	2.87	36%
5.57	-1.80	-0.97	0.24	3.04	2.45	0.81	31%
5.82	-1.18	-0.40	0.40	4.64	3.07	0.66	35%

る夏季間では、顕熱は放熱としてでなく、受熱として作用する。移流による熱輸送はすべての期間を通じて、受熱として作用する。湾内での熱量分布を考えずに、単純に熱量出入のみを考えるならば、移流は、外海との海水交換、陸水流入の2つに限られる。移流による熱輸送量は冬季に小さく夏季に大きくなる。湾全体の受熱総量($R + Q_{in}$)に占める移流熱の割合は31~42%の間となる。前報⁽¹⁾では茂浦の表面水温を用い、この数値を17.9%と算出した。これは本報における数値の約 $\frac{1}{2}$ である。この理由は表面水温は気象変化の影響を受け易く、相対的に移流による熱輸送効果が低くなるためと思われる。

表2に西湾と東湾に分けて熱収支計算を行った。計算に用いた西湾と東湾の面積、容積は以下の通りである。

	面 積 $\times 10^{15} cm^2$	容 積 $\times 10^{15} cm^3$
西 湾	0.0064	30.96
東 湾	0.0102	32.12

海面を通じての熱交換量は東湾の方が西湾より常に大きい。これは面積のちがいによる。移流による熱輸送は、西湾、東湾ともに、いずれの時期も受熱として作用する。移流による1日当りの熱輸送量は西湾では時期的な変化が大きく、 $0.32 \sim 1.94 \times 10^{15} g - cal / \text{日}$ となっており、東湾では時期的な変化は小さく、 $1.12 \sim 1.61 \times 10^{15} g - cal / \text{日}$ となっている。これは東湾の海水交流が、外海と

表2 西湾と東湾の熱収支

(西湾)

期 間	$\Delta Q \times 10^{15}$	$Q_{in} \times 10^{15}$	$Q_{out} \times 10^{15}$	$Q_{net} \times 10^{15}$	$R \times 10^{15}$
49年11月19日から50年3月13日	-175.2	85.6	-297.2	-211.6	36.4
50年3月14日から50年4月24日	58.8	78.6	-63.3	15.3	43.5
50年4月25日から50年5月15日	38.1	42.9	-19.5	23.4	14.7
50年5月16日から50年7月24日	257.6	154.7	-31.2	123.5	134.1

$Q_{in} \times 10^{15} / \text{日}$	$Q_b \times 10^{15} / \text{日}$	$Q_e \times 10^{15} / \text{日}$	$Q_h \times 10^{15} / \text{日}$	$Q_{net} \times 10^{15} / \text{日}$	$R \times 10^{15} / \text{日}$	$(R / Q_{net}) / \text{日}$	$(R / (R + Q_{in})) / \text{日}$
0.75	-0.92	-0.84	-0.84	-1.86	0.32	-	30%
1.92	-0.83	-0.57	-0.14	0.37	1.06	2.86	36%
2.15	-0.70	-0.38	0.09	1.17	0.74	0.63	26%
2.24	-0.45	-0.15	0.16	1.79	1.94	1.08	46%

(東湾)

期 間	$\Delta Q \times 10^{15}$	$Q_{in} \times 10^{15}$	$Q_{out} \times 10^{15}$	$Q_{net} \times 10^{15}$	$R \times 10^{15}$
49年11月19日から50年3月13日	-210.1	136.4	-473.7	-337.3	127.2
50年3月14日から50年4月24日	90.6	125.3	-100.9	24.4	66.1
50年4月25日から50年5月15日	67.8	68.4	-31.1	37.3	30.4
50年5月16日から50年7月24日	282.0	246.6	-49.8	196.8	85.2

$Q_{in} \times 10^{15} / \text{日}$	$Q_b \times 10^{15} / \text{日}$	$Q_e \times 10^{15} / \text{日}$	$Q_h \times 10^{15} / \text{日}$	$Q_{net} \times 10^{15} / \text{日}$	$R \times 10^{15} / \text{日}$	$(R / Q_{net}) / \text{日}$	$(R / (R + Q_{in})) / \text{日}$
1.20	-1.47	-1.34	-1.34	-2.96	1.12	-	48%
3.06	-1.32	-0.91	-0.23	0.60	1.61	2.68	34%
3.42	-1.11	-0.60	0.15	1.87	1.52	0.81	31%
3.57	-0.72	-0.24	0.25	2.85	1.23	0.43	26%

直接行われるのではなく、西湾を通じて行われることと何らかの関係があるかもしれない。一方、西湾での海水交流は外海と直接行われるので、外海水と湾内水との勢力のバランスが時期的に一定していないことと関連するのであろう。受熱総量に占める移流熱の割合の季節変化パターンは、西湾と東湾とで逆になっている。すなわち東湾では冬季に移流熱の割合が高く、逆に西湾では夏季に移流熱の割合が高い。これは東湾では冬季間、西湾に比べ水温が大きく低下し、相対的に移流による熱輸送効果が高まること。西湾では夏季に外海水の大規模な流入が起こることなどによると思われる。特に50年7月には急潮（湾口部平館側の南下流）が起こり、外海水の流入が、例年に比べ大規模であったと思われる。

考 察

内湾において外海との海水交換を論ずる場合、海水流動を直接、精密に測定できる場合は別として、通常は塩分量の変化から議論する場合が多い。大谷⁽²⁾は湾内に流入する陸水の平均滞留期間を海水更新規模の目安として使えると述べ、東湾での滞留期間を3～4カ月としている。当所でも全く同じ方法を用い、滞留期間を50年3月、4月、5月について求め、それぞれ47日、100日、91日としている⁽³⁾。また、梶原・井上⁽⁴⁾は湾口部付近での測流結果から、湾口部を通過する水の流量は $3 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{day}$ 程度ではないかと予想している。但しこれは厳密な意味での交換量ではなく、単に湾口部を通過する流量だと述べている。本報告では上記とは全く異なる熱収支と水温変動の観点から、湾口部を通過する流量や、それから求めた海水更新規模を試算してみた。もちろん水温は塩分量に比べ、その変化に關与する要因が多いため、この種の試算にはむずかしい側面がある。しかし一方では、湾内に5基設置されているブイロボットの5項目の測定のなかで、水温が最も稼働率が高くかつ信頼性が高いという事情がある。そこで、ここでは前述の熱収支計算の結果と、ブイロボットの水温を用いて上述の試算を試みた。

図1は平館沖と川内沖のブイ、15m層の半旬平均水温の差を示した。平館沖の水温は川内沖に比べ常に高い。特に冬季間でその傾向が著しい。5月から6月にかけて、一時的に川内沖の方が高温



図1 平館と川内ブイ、15m層の半旬平均水温の差
(平館>川内の場合を正としている)

となることがあるが、これは平館沖のブイが必ずしも常に津軽暖流水の影響下にあるのではないことを意味していよう。

表3に計算結果を示した。流量は各期間における移流による熱量を、その期間での平館沖と川内沖の水温差の平均で割って算出した。さらにそれを1日当りに換算し、湾の容積との比を求め、海水更新日数を求めた。もちろん、ここでいう海水更新とは、厳密な意味での海水交換ではないことをことわっておく。

湾口部を通過する流入流量は $0.33 \sim 2.68 \times 10^{15} \text{ cm}^3/\text{day}$ となっており、冬季に小さく、春季、夏季に大きい。日本海北部域での対馬暖流水に伴う北上流量は秋季の極大、冬季に極小になるといわれ

表3 流入流量、海水更新日数計算結果

期 間	水温差(°C)	流量×10 ¹⁵ cm ³	流量× 10 ¹⁵ cm ³ /日	容 積 比	更新日数
49年11月19日から50年3月13日	4.30	38.01	0.33	0.0052	192.3
50年3月14日から50年4月24日	1.98	58.44	1.43	0.0227	44.1
50年4月25日から50年5月15日	0.98	53.60	2.68	0.0425	23.5
50年5月16日から50年7月24日	1.18	179.19	2.60	0.0412	24.3

ており、⁽⁵⁾ 津軽暖流流量や湾内へ流入する津軽暖流水流量も、それに影響されるものとするれば、上述の変動傾向はほぼ妥当なものと言える。流量は前述の梶原・井上の冬季間の測量結果(単位をととのえると 3×10^{15} cm³/day)と比べ冬季間では1オーダー小さい。しかし海水更新日数は一般にいわれている日数に比べ若干多いが、冬季間としてはおおむね妥当なものであろう。一方春季、夏季における海水更新日数は淡水の平均滞留期間から求めた日数に比べかなり短い。これは本報における更新日数は単純に、湾内に流入する流量から割り出したこと、平館沖や川内沖の水温が、津軽暖流水や湾内水の水温を必ずしも代表するものとは限らないこと、熱交換量の計算が精密なものではないことなどによるものであろう。しかしブイロボットの水温を用いることで外海水流入量の季節的な変動傾向は、ある程度把握し得ることがわかった。なお上述の流入流量をほぼ妥当なものとする、津軽暖流水の流量(平均で 216×10^{15} cm³/day)に対し、その0.2~1.3%が陸奥湾へ流入するという計算になる。

参 考 文 献

- (1) 仲村俊毅(1982) 陸奥湾の熱収支-I 青水増事業概要 第11号 PP. 52~57
- (2) 大谷清隆(1977) むつ湾の湾内水の更新 沿岸海洋研究ノート 第14巻、第1・2合併号
- (3) 青森県(昭和51年) 陸奥湾漁業開発基本計画調査最終報告書
- (4) 梶原昌弘・井上直一(1974) 恒流調査結果 むつ湾水質環境調査報告書 環境庁
- (5) 秦 克巳(1962) 北部日本海における輸送水量からみた海況変動 日本海洋学会20周年記念誌