

パッチリーフ近傍における微細流動の計測

古島 靖夫^{*1} 岡本 峰雄^{*1} 小黒 至^{*1}
栢 孝雄^{*1} 松田 龍典^{*1} 小松 輝久^{*2}

パッチリーフ近傍の流れは、サンゴの成長や海洋生物にとって重要な環境要因の一つである。このような海域における流れは、石膏球を用いた時間平均流の強さを計測することによって評価できる。そこで、本研究では、石西礁湖（沖縄県石垣島）のパッチリーフ（定点）の東・西・南・北側の各層において流れの計測を行った。その結果、深さと位置の違いによって流れの強さが異なることが分かった。また、パッチリーフ近傍には渦が生じていることが示唆された。

キーワード：石膏球、パッチリーフ、サンゴ礁海域、流動環境、時間平均流、渦

Measurement of small scale water motion in the neighborhood of coral reef

Yasuo FURUSHIMA^{*3} Mineo OKAMOTO^{*3} Itaru OGURO^{*3}
Takao KAYA^{*3} Tasunori MATSUDA^{*3} Teruhisa KOMATSU^{*4}

The flow of the patch reef vicinity is one of the environmental factors, which are important for growth, and marine organism of the coral. It can evaluate the flow in such sea area by measuring the intensity of the time-averaged flow using plaster ball. Then, it measured the flow in this study in each layer in east and west and south and north-side in the patch reef (fixed point) of Sekisei lagoon (Ishigaki Island in Okinawa Prefecture). The result showed that the intensity of the flow differed by the difference between depth and position. And, it indicated that the vortex had been generated in the patch reef vicinity.

Keywords : plaster ball, patch reef, coral reef region, environment of water motion, time-averaged flow, vortex

*1 海洋生態・環境研究部 第1研究グループ

*2 東京大学海洋研究所 海洋生命科学部門

*3 Japan Marine Science and Technology Center Marine Ecosystems Research Department

*4 Ocean Research Institute University of Tokyo Marine Bioscience

1. はじめに

海洋の流れは、生物を支配する重要な環境要素の一つである。特に、サンゴ近傍の流れは、パッチリーフにおけるサンゴの成長や卵・幼生の輸送に深く関わりを持っている。また、サンゴの成長や繁殖には、サンゴに存在する褐虫藻の光合成や、動物プランクトンを捕食することによって促進されるとされており、さらに、光のみならず海水の運動などの環境要因とも密接に繋がっていると考えられている¹⁾。

サンゴ礁海域全域における海水流動は、主に潮汐と風の影響を強く受ける。サンゴ礁海域は主にリーフで囲まれており、そこでの海水流動(海水交換)は、水道からの流入出、リーフを越えてくる海水の出入りなど様々な物理的要因が結びついて生じている。また、サンゴ礁海域には、多数のパッチリーフが存在し、このような地形的な影響によって流動環境は複雑になっていると考えられる。しかしながら、パッチリーフにおける流動環境を把握することは、そこで生育しているサンゴの成長や繁殖、プランクトンなどの餌場環境などを把握するために重要である。さらに、生物への影響だけではなく、サンゴの卵や幼生の輸送過程を知る上でも重要である。

通常、流れの計測には、流速計(電磁流速計など)を用いた係留観測が行われるが、パッチリーフなどの極めて小規模な範囲での流れの計測には、機器そのものの大きさ、

コスト面などから考えてこれらは適さない(多数の点に設置はできない)²⁾。また、サンゴのように固着して生活する生物にとっては、生息域での平均的な流れ(時間平均流)が生活の場の流動環境を支配すると考えられるので、時々刻々の流向・流速の変化は必ずしも必要とされない。したがって、このようなごく小規模で、海洋生物に重要な環境下(パッチリーフのみならず、藻場や養殖場など)における流れの評価には、石膏球を用いて時間平均流の強さ計測する技術^{2), 3)}が有効であると言える。

本研究では、パッチリーフのごく近傍における流動環境を把握するために、石西礁湖(沖縄県石垣島)のパッチリーフ(観測定点)の四方および上層・中層・下層に石膏球をそれぞれ設置し、時間平均流の強さおよび平均的な流向を計測し、パッチリーフ近傍の流動環境を把握するための基礎データを取得した。

2. 方法

2.1. 実海域実験

石西礁湖(沖縄県石垣島)のパッチリーフ(St.A)に石膏球を設置し、50時間の平均流の強さの計測を行った(図1)。石膏球は、図1に示したSt.Aの東側・西側・南側・北側の斜面の3m, 6m, 9m層にそれぞれ設置した。また、各層の石膏球

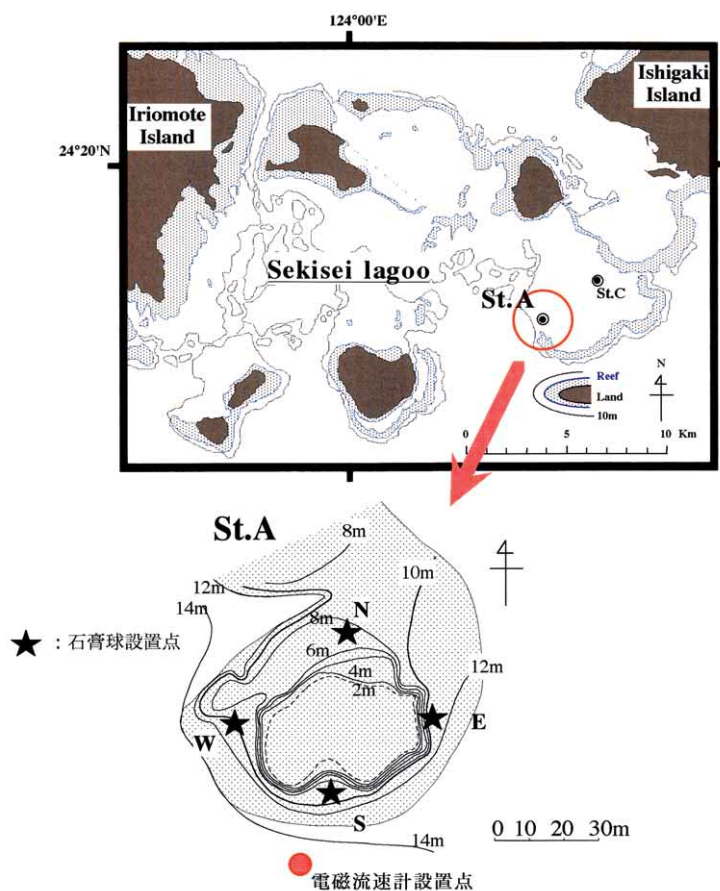


図1 石西礁湖における微細流動調査地点とパッチリーフの地形

Fig. 1 Observation point of small scale water motion in Sekisei lagoon and topography of patch reef (St.A).

は、ごく近傍の流れを把握するためパッチリーフから50cm, 100cm離れるように各々設置した(図2)。写真1に、石膏球の設置の様子を示した。設置および回収作業は、ダイバーによって行った。

石膏球による流れの計測は、2000年11月7日15時00分から11月9日12時00分(45時間)と、2000年11月13日10時00分から11月15日10時00分(48時間)の2回行った。

また、計測期間にパッチリーフ全体に影響を及ぼす流れ(流向・流速)の計測、および石膏球から平均流の強さを見積もるための対象点として、St.Aの南側(水深13m)に電磁流速計と石膏球を設置した。

2.2. 石膏球の計測方法

石膏球は、設置1時間前に、海水(石垣港岸壁より採水)に浸し、湿重量、大きさ(外径など)を計測した後、ダイバーによって設置した。また、回収作業も、ダイバーによって行った。石膏球の上部に北向きの矢印を記入し、海中でビニル袋に入れ回収した。その後、陸上で湿重量を計測した。なお、石膏球の詳細な理論はKomatsu T. and H.Kawai(1992)、小松(1992)に委ねる。

2.3. 時間平均流の強さの見積

時間平均流の強さは、石膏球の溶解速度と水温の関係から見積ることができる²⁾³⁾。しかし、溶解速度には水温だけでなく塩分の影響も考えられてる。石膏球を用いた流れの計測は、藻場やサンゴ礁近傍などの大型流速計の設置が困難な場所において有効な手法である。今回の計測では、パッチリーフ近傍に電磁流速計を設置することが可能であった。したがって、溶解速度と水温の関係から流速を見積もるのではなく、電磁流速計とその近傍に設置した石膏球の溶解率とパッチリーフに設置した石膏球との相関から時間平均流の強さを見積もることを試みた。

溶解率DRは次式で求めた。

$$DR(\%) = \{(W_0 - W_{50}) / (W_0 - W_b)\} \times 100 \quad (1)$$

ここで、 W_0 は設置前の湿重量(g)、 W_{50} は設置後の湿重量(g)、 W_b は支持柄の重量(g)をそれぞれ表す。また、角石膏球の流速Rは次式で求めた。

$$R(\text{cm/s}) = (R_{\text{ave}} \times DR_p) / DR_b \quad (2)$$

ここで、 R_{ave} は電磁流速計で得られた観測期間中の平均流速を、 DR_b は電磁流速計近傍に設置した石膏球の溶解率を、 DR_p は各測点で得られた石膏球の溶解率をそれぞれ表す。

2.4. 時間平均流の向きの見積

定常流中に石膏球を設置すると、石膏は球の背後(流れに対して反対側)にできる小さな渦(微少乱流)によって溶解する。したがって、原則的には石膏球の溶解後の形状によって計測期間中の平均的な流向が推定できる。写真2は、設置前の石膏球と設置後の石膏球を真上から見たものである。写真2(下部)を見ると、南東側が比較的多く溶解している。この場合、北西流が卓越した流向であると推定できる。図3に、石膏球の溶解パターンを大きく4つに分類し模

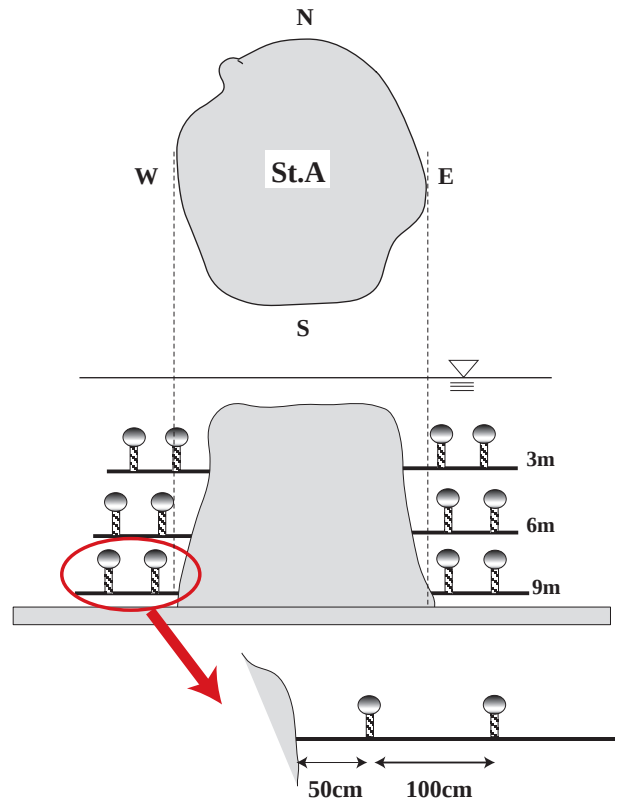


図2 パッチリーフにおける石膏球の設置概略図

Fig. 2 Schematic view of plaster balls at the southern side of St.A.

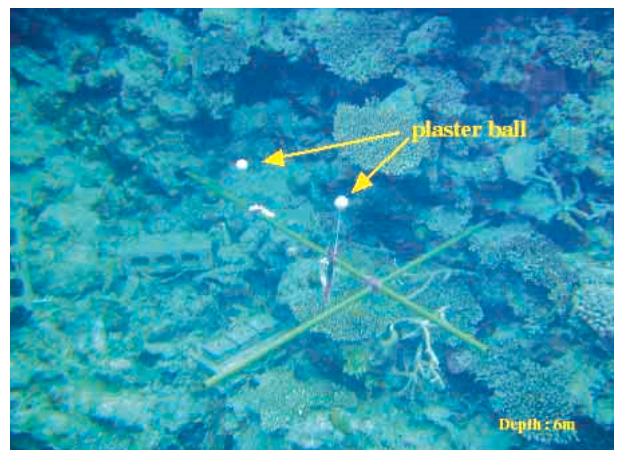


写真1 パッチリーフにおける石膏球の設置写真(南側、水深6m)

Photo 1 Plaster balls used this observation at the southern side of patch reef.

式的に表した。北-南を中心に石膏球をみて、上部あるいは下部の溶解が顕著な場合を南・北流型、左右の溶解が顕著な場合を東・西流型、右斜めの形状の場合を南東・北西流型、左斜めの形状の場合を北東・南西流型とした。この代表パターンをもとに、写真2で示した、設置前の石膏球の写真と設置後の石膏球の写真を画像処理することによって、計測期間中の平均的な流向を推測することを試みた。

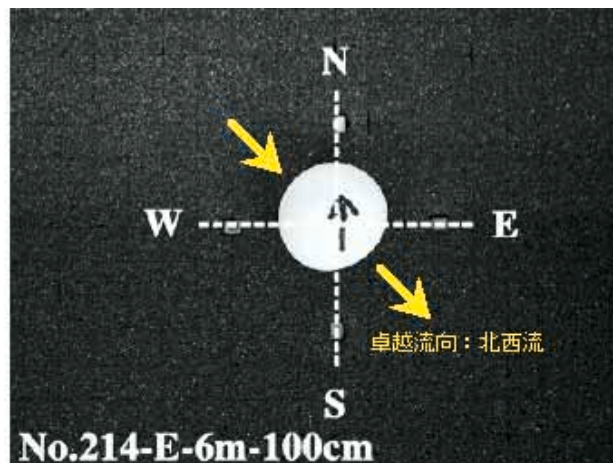


写真2 計測後の石膏球から卓越流向を求める方法の一例

Photo 2 Schematic view of measurement of current direction by plaster ball.

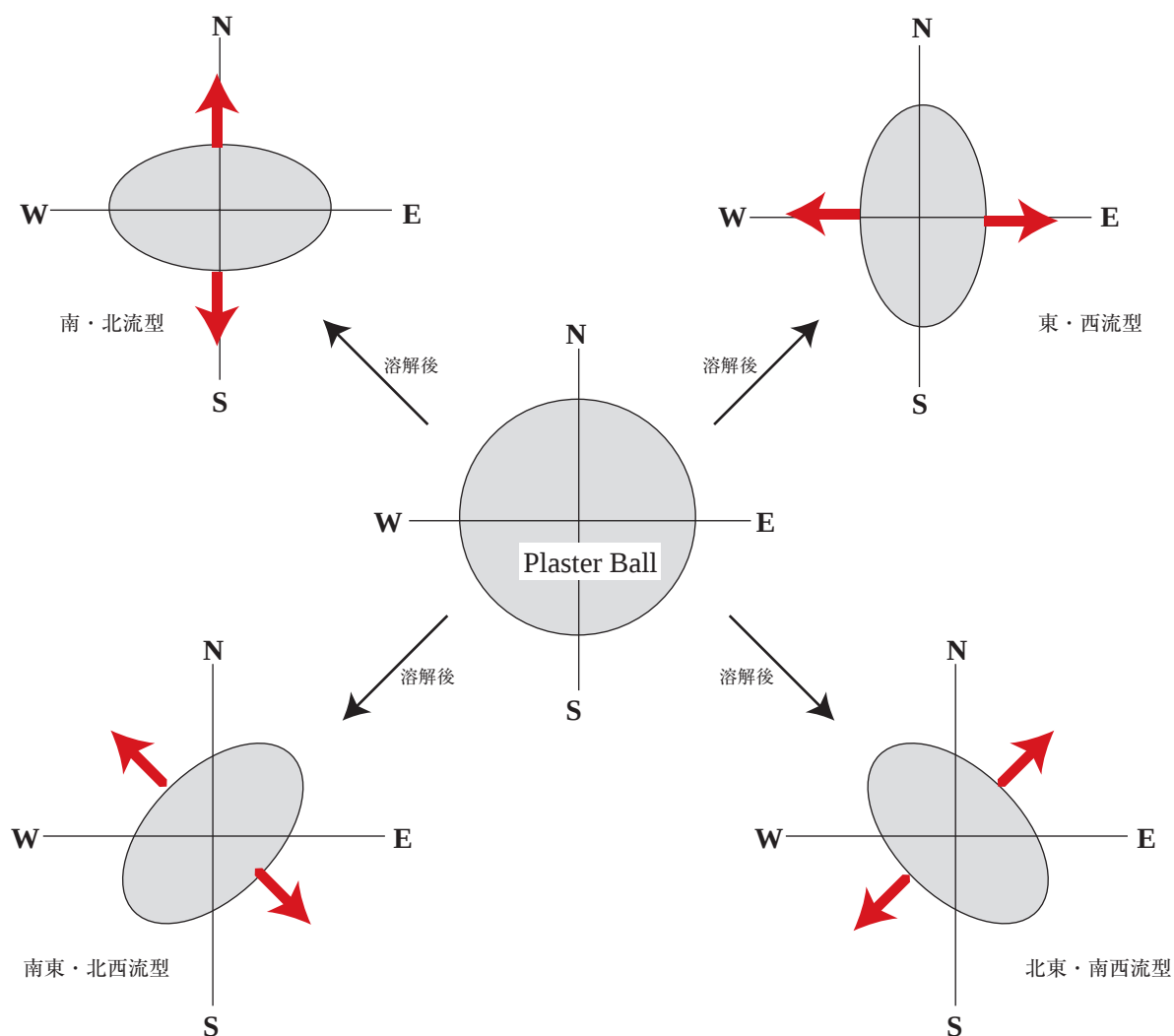


図3 石膏球による流向の決め方の代表パターン

Fig. 3 Method of current direction measurement by plaster ball.

3. 結果および考察

2000年11月7日から11月9日のSt.Aにおける流動計測結果を表1に示した。

この実験期間中の平均流速は、約6.3cm/secで、流向は南東向き(約132°方向)の流れが卓越していた。また、平均水温は26.30℃で塩分は33.971psuであった。電磁流速計の近傍に設置した石膏球の溶解率は、44.8%であった。この溶解率と電磁流速計から得られた平均流速をもとに、各層における流速を(1)および(2)式を用いて計算した。

各斜面(東側、西側、南側、北側)における平均流の強さをみると、北側斜面の各層の溶解率が50%以上を示しており4方向の中で最も流れの影響を強く受けていることが分かった。これは、この期間における平均流が、南東向き

(6.3cm/sec)であったこととほぼ一致する(北西方向から南東に向かう流れが卓越)。また、北側斜面以外の各層についてみると、3m層付近における平均流が強い(溶解率が50%以上)ことが分かった。これは、風や潮汐などにもなうパッチリーフ直上の擾乱の影響を受けるためではないかと考えられる。一方、南側、東側、西側斜面における6mおよび9m層では、溶解率が低く平均流が弱いことが分かった。また、流向は北側斜面では、南西向きの流れが顕著であるものの、他の斜面での流向は様々ではなかった。

また、パッチリーフから50cm離れた石膏球と100cm離れた石膏球間で流向をみると、両者とも流向がほぼ一致する場合、あるいは両者とも流向が全く逆になる場合などが見られた。

表1 2000年11月7日～9日のパッチリーフにおける流動計測結果

Table 1 Result of small scale water motion for patch reef during Nov.7th - 9th, 2000.

						St.A		
						Current Speed	6.3 cm/sec	
						Current Direction	132.4°	
						Water temperature	26.30℃	
						Salinity	33.971	
						D.R. (%)	44.8	
Layer	Horizontal Distance	Plaster ball Number No.	Wet Weight (0 hour) W ₀ (g)	Wet Weight (after 50 hour) W ₅₀ (g)	Wet Weight W ₀ -W ₅₀ (g)	Dissolution Rate D.R. (%)	Current Speed Cur.Sp. (cm/s)	Current Direction Cur.Dir.
North								
3m	0.5m	332	129.25	88.33	40.92	50.8	6.56	NW
	1.0m	327	129.48	85.39	44.09	54.7	7.06	SW
6m	0.5m	282	127.25	87.18	40.07	51.1	6.59	SW
	1.0m	238	127.58	84.25	43.33	55.0	7.10	SW
9m	0.5m	324	133.59	95.64	37.95	44.7	5.78	E
	1.0m	286	134.99	92.60	42.39	49.2	6.35	SW
South								
3m	0.5m	330	130.00	88.96	41.04	50.5	6.52	NW
	1.0m	334	124.19	87.38	36.81	48.8	6.30	N
6m	0.5m	223	125.86	104.05	21.81	28.3	3.65	S
	1.0m	312	127.76	103.25	24.51	31.1	4.01	SE
9m	0.5m	273	128.97	104.05	24.92	31.1	4.01	S
	1.0m	336	126.17	99.16	27.01	34.9	4.50	NE
East								
3m	0.5m	304	126.85	82.91	43.94	56.3	7.27	NE
	1.0m	301	127.54	84.25	43.29	54.9	7.09	N
6m	0.5m	231	134.15	105.28	28.87	33.9	4.37	W
	1.0m	322	129.46	98.00	31.46	39.0	5.03	NE
9m	0.5m	325	127.84	95.41	32.43	41.0	5.29	SE
	1.0m	288	131.94	98.60	33.34	40.9	5.28	S
West								
3m	0.5m	302	127.33	84.51	42.82	54.6	7.05	SW
	1.0m	237	126.32	83.76	42.56	54.9	7.08	SW
6m	0.5m	339	124.52	98.49	26.03	34.4	4.44	NE
	1.0m	306	126.09	97.17	28.92	37.4	4.83	NE
9m	0.5m	329	129.46	100.41	29.05	36.7	4.74	NE
	1.0m	264	129.49	99.77	29.72	36.8	4.75	SW

2000年11月13日から11月15日のSt.Aにおける流動計測結果を表2に示した。

この実験期間中の平均流速は、約7.7cm/secで、流向は南東向き(約144°方向)の流れが卓越していた。また、平均水温は25.99℃で塩分は34.169psuであった。

この期間は、先の表1で示した期間に比べて、平均流速が約1.5cm/sほど強かった。ゆえに、石膏球の溶解率も11月7日から9日の計測結果よりも高い値を示した。この期間も、北側斜面と3m層で平均流が強いことが分かった。また、南側、東側、西側斜面における6mおよび9m層では、先の結果とほぼ同様であった。

図4は、表2の結果をもとに、各層毎にSt.Aにおける流向・流速を模式的に表したものである。この期間、平均流

向は南東向きであった。したがって、北側斜面ではパッチリーフに向かう方向の流れが卓越していた。東側斜面では、3m、6m層で南よりの流向を示したものの9m層では流向が北東向きであった。また、西側斜面では、各層とも北よりの流向を示した。これらの結果は、パッチリーフの周りに生じる小規模な渦の発生を表すと考えられる。すなわち、パッチリーフの周りには、流速の相違による大きな渦度をもった層(境界層)5)ができていていると考えられる。したがって、この境界層が、パッチリーフに存在するプランクトンの分布などを規定していると示唆される。

St.A付近では、東から南向き流れになる傾向が強い⁴⁾。したがって、このパッチリーフでは、定常的に北側斜面が流れの影響を強く受け、南側、東側、西側の6m以深は比較的

表2 2000年11月13日～15日のパッチリーフにおける流動計測結果
Table 2 Same as Table1 except for during Nov.13th - 15th, 2000.

		Period		St.A				
		Start	2000.11.13 10:00	Current Speed	7.7 cm/sec			
		End	2000.11.15 10:00	Current Direction	144.1°			
				Water temperature	25.99℃			
				Salinity	34.169			

Layer	Horizontal Distance	Plaster ball Number No.	Wet Weight (0 hour) W ₀ (g)	Wet Weight (after 50 hour) W ₅₀ (g)	Wet Weight W ₀ -W ₅₀ (g)	Dissolution Rate D.R. (%)	Current Speed Cur.Sp. (cm/s)	Current Direction Cur.Dir.
North								
3m	0.5m	328	123.79	82.98	40.81	54.4	6.59	S
	1.0m	217	125.04	80.05	44.99	59.0	7.14	S
6m	0.5m	305	125.63	82.42	43.21	56.2	6.80	SE
	1.0m	228	126.66	77.28	49.38	63.4	7.67	E
9m	0.5m	226	128.53	86.23	42.30	53.0	6.42	SW
	1.0m	333	124.76	82.32	42.44	55.8	6.76	E
South								
3m	0.5m	292	126.01	81.77	44.24	57.3	6.93	S
	1.0m	221	126.17	83.42	42.75	55.2	6.68	NW
6m	0.5m	313	125.82	98.21	27.61	35.8	4.34	S
	1.0m	295	124.47	97.39	27.08	36.6	4.43	NW
9m	0.5m	284	131.00	97.57	33.43	41.5	5.02	NE
	1.0m	335	130.75	95.58	35.17	42.9	5.19	NE
East								
3m	0.5m	229	124.00	82.60	41.40	55.0	6.65	S
	1.0m	293	126.85	84.11	42.74	54.7	6.62	E
6m	0.5m	338	122.30	92.39	29.91	40.6	4.92	SE
	1.0m	214	125.79	93.77	32.02	41.5	5.03	SE
9m	0.5m	230	123.97	92.22	31.75	42.2	5.11	SE
	1.0m	236	126.82	93.48	33.34	42.7	5.17	E
West								
3m	0.5m	326	125.02	79.28	45.74	60.0	7.26	SE
	1.0m	307	125.53	82.92	42.61	55.5	6.72	NE
6m	0.5m	235	132.60	99.20	33.40	39.8	4.82	NW
	1.0m	291	125.58	92.40	33.18	43.2	5.23	NW
9m	0.5m	317	126.47	89.67	36.80	47.3	5.73	NE
	1.0m	321	132.43	91.47	40.96	56.8	6.88	NE

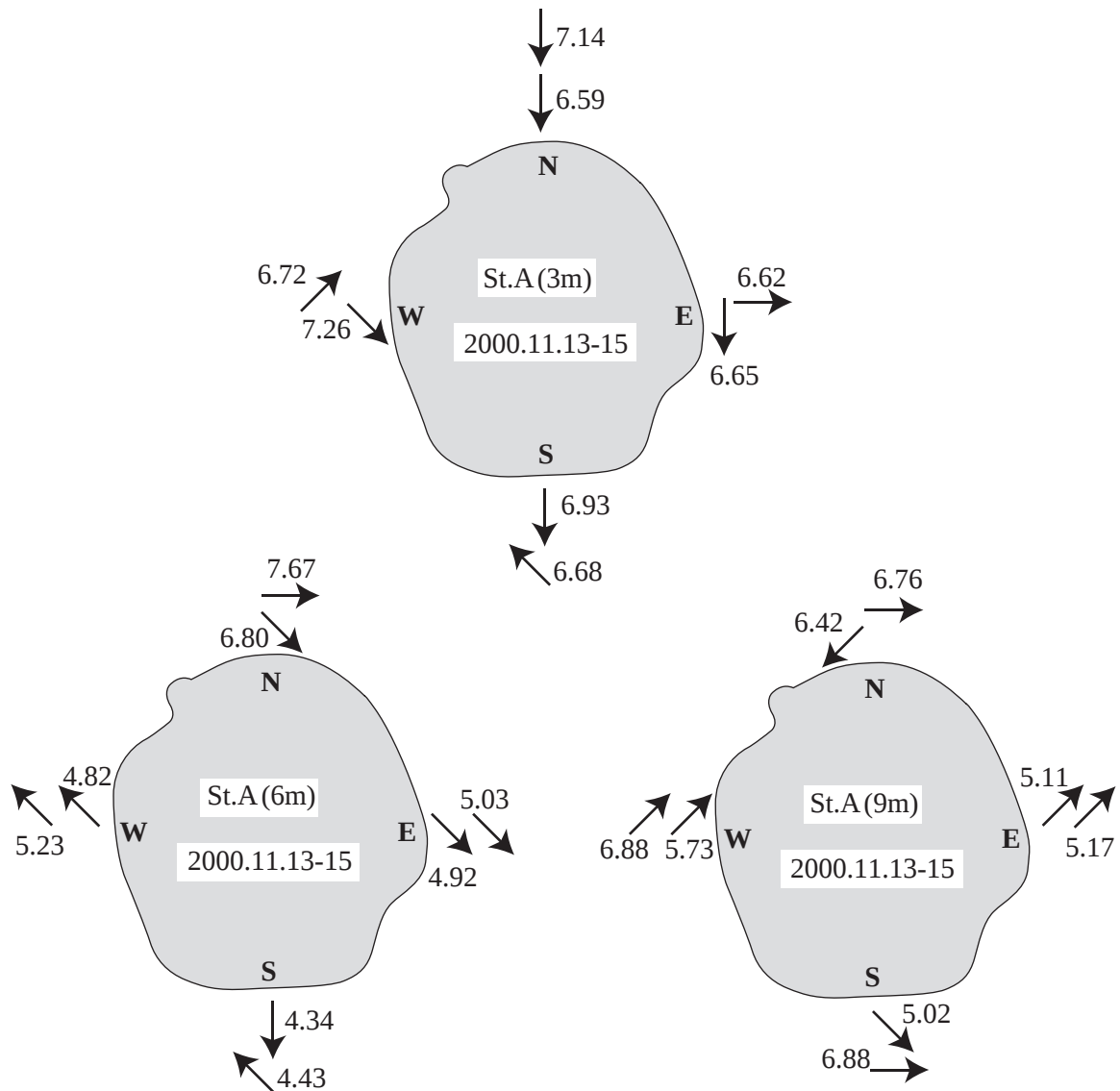


図4 St.A近傍における流れの概略図 (2000.11.13~15)
Fig. 4 Schematic view of water motion at St.A during Nov. 13th - 15th, 2000.

その影響は弱いと考えられる。

本報では、各層の流れの強さとプランクトン分布の関わりについては検討しなかった。しかしながら、パッチリーフの各々の場所で流れの強さが違うことから、プランクトンの分布(すみ場環境)と関連性が強いであろうことが示唆できる。したがって、流れの調査とプランクトン分布の調査を同期して行う必要があると考えられる。また、サンゴのように固着性の生物は、長期的にパッチリーフに存在している。ゆえに、パッチリーフにおけるサンゴ分布の相違と流れの関係について今後検討を進めていく。さらに、パッチリーフの形状にともなう、渦の発生の詳細(境界層、レイノルズ数など)を検討することも、生物と流れの関わり合いを検討していくうえで重要な課題である。また、本報では石膏球から得られた流向を画像処理によって平面的に捉えた。今

後は、湿重量の変動も加味した流向の決め方を検討する必要があると考えられた。

4. まとめ

- 1) 石西礁湖で定点としているパッチリーフ(St.A)の北側斜面は時間平均流の強さが強い。
- 2) 南側、東側、西側斜面における6mおよび9m層では、時間平均流の強さが弱くプランクトンが生息しやすい環境が形成されていることが示唆された。
- 3) パッチリーフの南側、東側、西側斜面には小規模の渦が生じている可能性が高い。
- 4) プランクトン分布と時間平均流の強さの関係、渦の発生の詳細を明確にすることが今後の課題。

参考文献

- 1) 山里清, サンゴの生物学, 東京大学出版会 (1991).
- 2) 小松輝久, 石膏球による時間平均流の強さ測定方法の改良と観測例, 月刊海洋, Vol.24, No.8 (1992).
- 3) Komatsu T. and H.Kawai, Measurements of Time-Averaged Intensity of Water Motion with Plaster Balls. J. Oceanog., Vol.48, pp.353-365 (1992).
- 4) Yasuo Furushima, Teruhisa Komatsu and Mineo Okamoto, Simple measurements of water motion in shallow areas. Oceans 2000 MTS/IEEE Proceedings., Vol.2, pp, 993-997 (2000).
- 5) 木田重雄, いまさら流体力学?, 丸善 (1994).

(原稿受理: 2001年1月18日)