

赤外線放射温度計による鏡ダムの対流現象の研究

西森 美子¹・紙井 泰典²・丹羽 祐詞³・近森 邦英⁴

(¹高知医科大学・²農学部農林環境工学講座・³協和建設(株)・⁴高知大学名誉教授)

A Study on the Thermal Convection by Thermography at Kagami Dam

Yoshiko NISHIMORI¹, Yasunori KAMII², Yuji NIWA³, and Kunihide CHIKAMORI⁴

¹*Kochi Medical School*

²*Chair of Land Environmental Engineering, Faculty of Agriculture*

³*Kyowa Construction Co., Ltd.*

⁴*Professor Emeritus of Kochi University*

Abstract: Thermal convection at Kagami Dam in Kochi Prefecture was investigated by thermography from December 4, 2000 to January 16, 2001.

The following facts were concluded.

- (1) The convection cells are classified into two types, one is small whose diameter is equal to or less than 0.5m, another is large whose diameter is more than 0.5m. The difference is caused by the difference of water temperature profile especially by the existence or non-existence of thermocline.
- (2) The estimated velocity of a point inside a large standing cell was 0.24 m/s on December 12, 2000.
- (3) The area of a vanishing cell was expressed as a function of 1/2 or 2/3 power of the elapsed time.
- (4) There found unknown cell sink area where cells vanish. The example process is seen in the four pictures of Fig.39.

キーワード：対流，セル，対流セル，サーモグラフィ

緒 論

貯水池における対流現象は、貯水池の水の循環と熱収支を考える上で重要な問題である。ダム湖に代表される人工貯水池では成層周期があり、春から夏にかけて成層化する。成層は比較的低温の深水層、温度が急変する躍層および比較的高温の表水層からなる。秋期になると、夕方から夜間にかけて気温の低下によりダム湖水面が冷やされ、低温で高密度の表層と、暖かく低密度の内部水体との間に鉛直方向に密度差が生じ、対流が起こる。このとき水体中には下降流と上昇流とが現れ、上昇流は水表面において対流セルとなる。対流は秋期には小規模であるが、冬季が近づき、あるいは深まるとともに大規模となり、最終的には全層対流循環となって貯水池水温を上から下まで均一

化してしまう。

対流現象は発生条件, 規模, 周期, 環境への影響などについて知られていないことが多い。本研究においては赤外線放射温度計(サーモレーサ)を用いての対流セルの観測を, 2000年11月~2001年1月の夕方から夜半にかけて行い, 様々な画像を得ることができたので, 画像を通して対流現象の解明を試みた結果を報告する。

観 測 方 法

観測は2級河川鏡川の上流, 高知県土佐郡鏡村今井に1967年に設置された鏡ダム湖において行った。鏡ダム堤頂中央付近に設置された観測小屋(写真1参照)に観測機材を持ち込み, 熱赤外線カメラは観測小屋から上流に向かって張り出したテラスの上に設置した(写真2参照)。観測に使用した機材は対流セルの撮影にNEC三栄(株)製サーモレーサ TH3100(写真3参照), 表面水温の測定に東亜電波工業社製の水温水質計 WQC-20A, 水面上0.5m付近の気温の測定に堀場製作所製の水質チェッカー U-10, そして撮影開始から1時間半間隔に実施した, 水深0.5m間隔での鉛直水温分布の測定には, オリオンリサーチ社製の model 128 ポータブル伝導度計(写真4参照)を用いた。

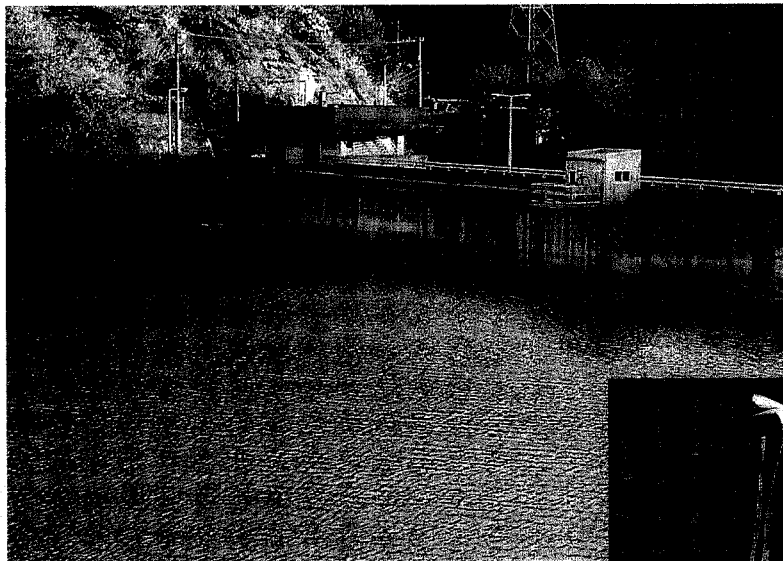


写真1 鏡ダムを上流(北東側)から望む

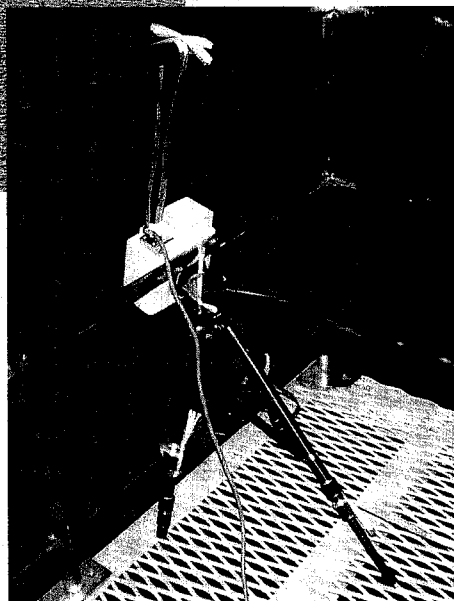


写真2 赤外線放射温度計カメラの設置状況

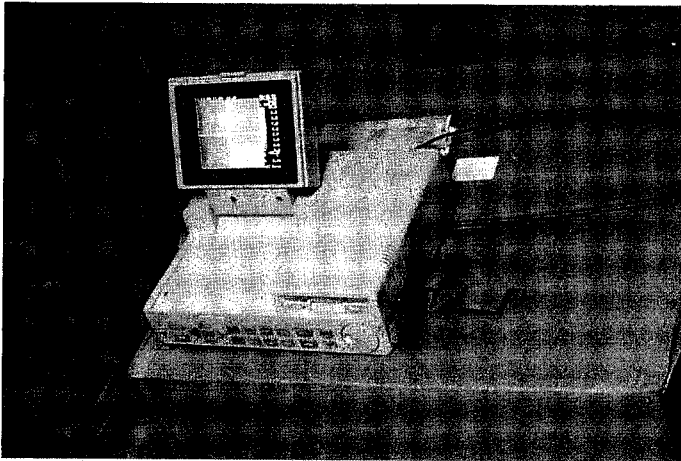


写真3 サーモトレーサ TH3100本体

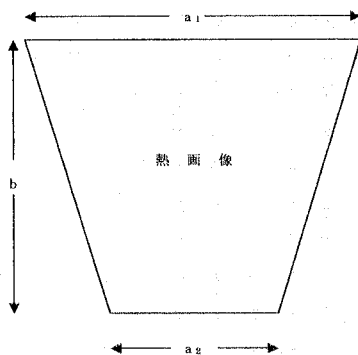


写真4 水質計 WQC-20A と model 128

ダム堤体は、概ね南北方向を向いており、右岸側が北、左岸側が南、上流側が東、下流側が西である。撮影された映像では画面上側が上流側(東)、下側が下流側(西)、右側が南、左側が北となっている。

観測日時は2000年11月27日、12月4日、5日、7日、12日、15日、21日、25日、2001年1月5日、同16日である。観測はいずれも晴天日の夕方から夜半にかけて4秒刻みで行った。このうち11月27日と12月5日は収録に失敗したので、ここでは残りの8日分の撮影時刻・撮影状況等について第1表に示す。

熱赤外線カメラは、テラス自身が画面に映り込むのを避けるために、鉛直真下より多少の角度をつけて設置した。このため画面の上辺と下辺とでは画面に映る実距離が異なっている(第1図および第1表参照)。



第1図 熱画像の走査範囲

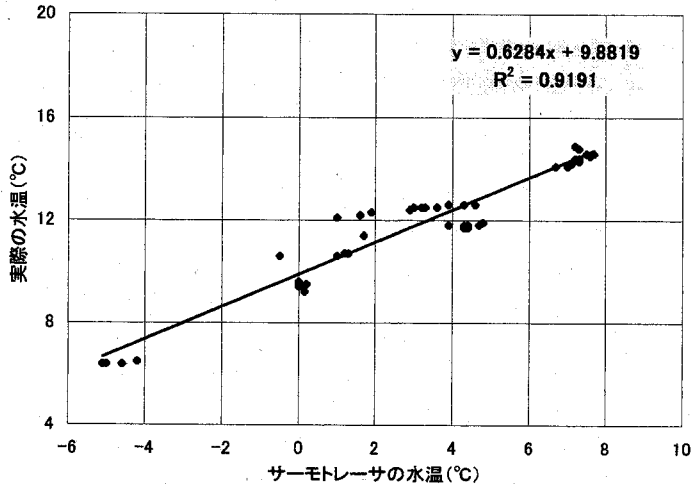
第1表 各観測日の撮影時刻・撮影状況・熱画像操作範囲・角度・水面距離・貯水位・放流量

観測日	12月4日		12月7日		12月12日		12月15日	
撮影開始	21:46:19		20:13:06		16:48:36		16:55:56	
撮影終了	22:52:55		23:00:22		22:21:42		22:29:08	
月	あり(影響なし)		あり(南)		満月(18:53~)		あり(21:00~)	
雲	なし		あり(21:22~)		なし		なし	
風	なし		少しあり		少しあり		少しあり	
ゴミの浮遊	なし		あり(~21:22)		あり		あり(~19:30)	
γ (度)	14.5		18.0		22.0		13.0	
h(m)	4.28		4.5		5.115		5.64	
a_1 (m)	2.62		2.85		3.40		3.40	
a_2 (m)	2.29		2.42		2.77		3.02	
b(m)	2.33		2.54		3.05		3.03	
H(m)	73.12		-		-		73.2	
Q(m ³ /s)	2.33		-		-		3.03	
観測日	12月21日		12月25日		1月5日		1月16日	
撮影開始	16:48:36	18:54	16:56:22		16:02:27		15:30:15	
撮影終了	22:21:42	21:23	21:15:26		18:35:19		20:44:23	
月	なし		なし		あり(影響なし)		なし	
雲	少しあり(開始時のみ)		なし		なし		あり(影響なし)	
風	あり		強(~20:30)		強(~20:30)		あり	
ゴミの浮遊	あり	あり(19:~)	あり(20:54~)		あり(18:34~)		なし	
γ (度)	8.0	54.0	25.0		21.0		13.0	
h(m)	4.465		4.67		6.15		5.15	
a_1 (m)	2.59	6.46	3.23		4.04		3.10	
a_2 (m)	2.41	3.11	2.55		3.32		2.76	
b(m)	2.32	7.48	2.93		3.62		2.76	
H(m)	74.4		74.21		72.73		73.85	
Q(m ³ /s)	3.06		3.46		3.05		2.78	

(注) γ : カメラ光軸の鉛直線からの角度(度), h: カメラから水面までの距離(m), a_1 , a_2 , b: 第1図参照, H: ダムの貯水位(m), Q: ダムからの放流量(m³/s)

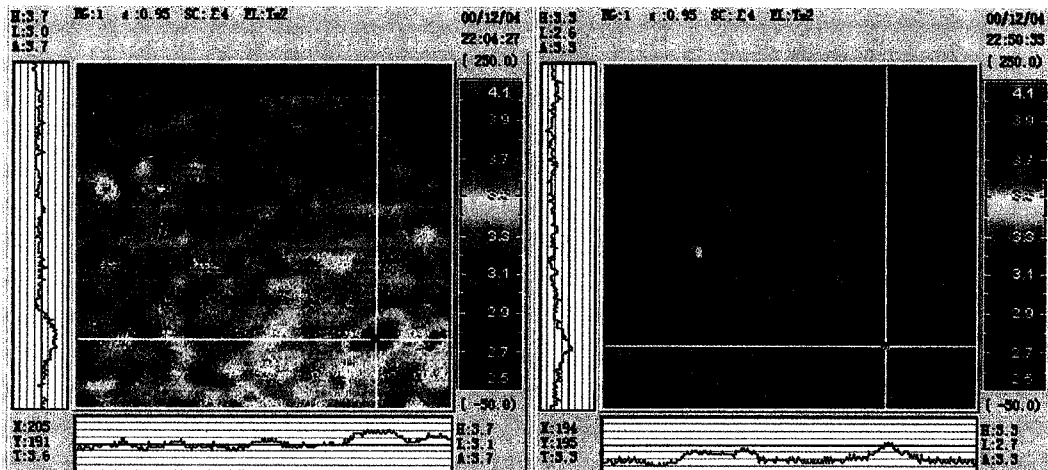
結果と考察

サーモレーサの画面表示温度Xを、各観測日の観測開始から1時間半毎に水温水質計 WQC-20A で湖水面水温Yを実測してキャリブレーションを行った。結果を第2図に示す。



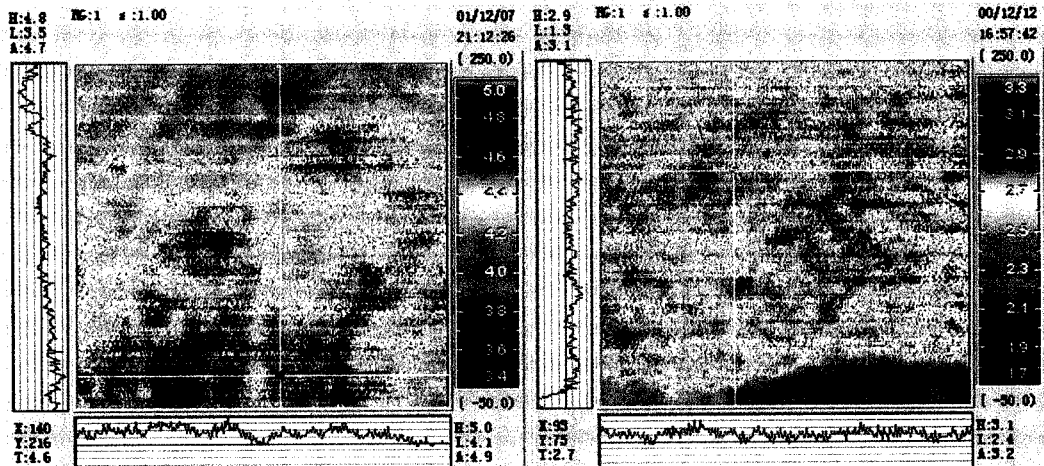
第2図 サーモレーサ水温のキャリブレーション

12月4日 星空で、ほとんど無風状態、南西に7日月が出ていたが、測定に影響はなかった。撮影は21:46:19から22:52:55の約1時間で、開始から終了まで撮影範囲にゴミはなく、理想的な状態であった。対流セルは(1) 21:46:19~21:50:27, (2) 21:51:39~22:12:39, (3) 22:13:47~22:52:55の間発生していた。22:04:27と22:50:35のセル映像を第3, 4図に示す。第3, 4図以下のタイトル中に示す「最高」は画面中の最高温度, 「最低」は同最低温度を表し、キャリブレーション後の値で示している。ちなみに画像の中に示す温度はキャリブレーションする前の温度である。



第3図 2000/12/04 22:04:27 (セルの中のセル, 最高12.2°C, 最低11.6°C)

第4図 2000/12/04 22:50:35 (左上は50:35-51:27, 右下は50:11-50:43の間存在した, 最高12.0°C, 最低11.4°C)



第5図 2000/12/07 21:12:26 (ゴミで隠された対流セル, 最高13.0°C, 最低12.1°C)

第6図 2000/12/12 16:57:42 (巨大セル, 最高11.8°C, 最低10.7°C)

対流セルの状況は次のとおりであった。

- (1) 21:46:19~21:50:27 (4分8秒間) 21:46:19, 対流セルが現れる。セルは21:47:07までの間拡大し, その後縮小した。21:47:35以降再びセルは大きくなり, 21:48:47には画面全体に広がったが, 後次第に縮小し, 21:50:27消滅した。
- (2) 21:51:39~22:12:39 (21分間) 21:51:39, ほんやりとセルが現れる。21:52:07, セルは拡大後徐々に小さくなり, 21:52:19には消えそうであった。21:53:07に再びセルがほんやりと現れ, セルの温度は上昇, 下降を繰り返した。22:01:19~22:03:23と22:03:31~22:07:51, 22:08:47~22:12:39の間, 画面にセルが映っていた。
- (3) 22:13:47~22:52:55 (39分8秒間) 22:13:47, 画面右半分にセルが現れ, 拡大して22:14:47には全画面に広がった。セルの温度は上昇, 下降を繰り返し, 22:35:35にいったん消滅したかと思われたが, 4秒後再びセルが現れる。セルの温度は上昇, 下降を繰り返し, 22:50:11からは小さなセルが点在するようになった。そして22:52:55に撮影終了。

12月7日 風が少し吹き, 南に月が出ていた。雲があり, 画像に映り込む可能性があった。撮影は20:13:06から23:00まで行った。21:22までは撮影範囲にゴミが多く, 画面に青く映り込んでいたが, しばしば対流セルが現れた。21:11:22, 画面の下方からセルが映りこんできた。その後風が止み, ゴミが画面左から右へと移動し, 同時にセルも移動した。21:12:14, ほぼ画面全体が明るくなり, セルの温度が上昇した。21:12:26の状況を第5図に示す。ゴミ(画面の青い部分)の下のセルが見える。21:13:14に再び画面右下にゴミが映るが, 画面左側にはセルが映る。1分後セルの温度が低くなり, 21:14:50にセルは消滅した。21:22から撮影終了まで雲が画面全体に映り込んでいたが, ゴミは無くなっていた。

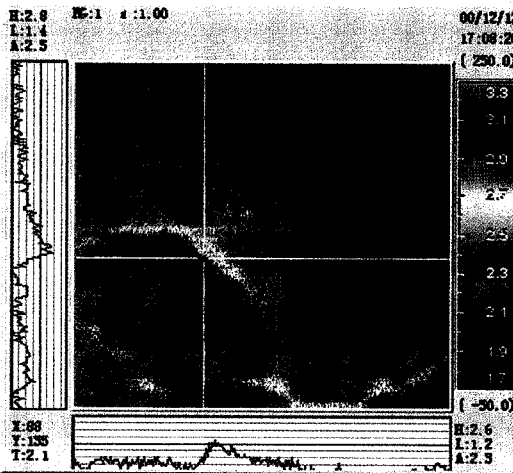
12月12日 16:48:26撮影を開始し, 22:21:42に終了した。微風が吹き快晴。満月が18:53頃出た。17:27~17:31, 17:57~18:48, 19:00~撮影終了までゴミが画面に映っていた。

対流セルの状況は次のとおりであった。

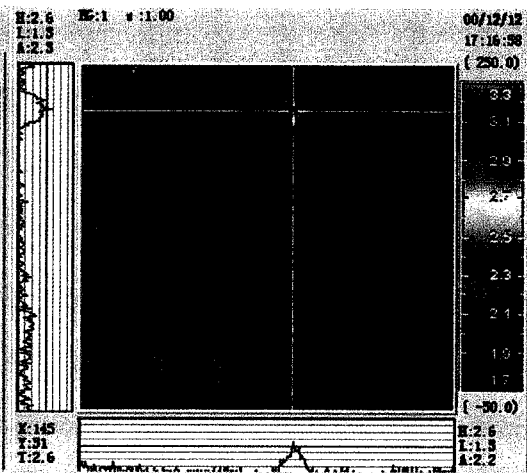
- (1) 16:48:30~16:55:34 (7分4秒間) 16:48:30, ほんやりと画面が明るくなる。16:49:30, 画面

右下に赤色の高温部分が現れ、対流セルと思われた。セルは温度の昇降を繰り返し、16:50:30には高温のセルが多くなった。16:53:10、セルが消えかけ、16:53:34に再び現れて、16:55:34に消えた。

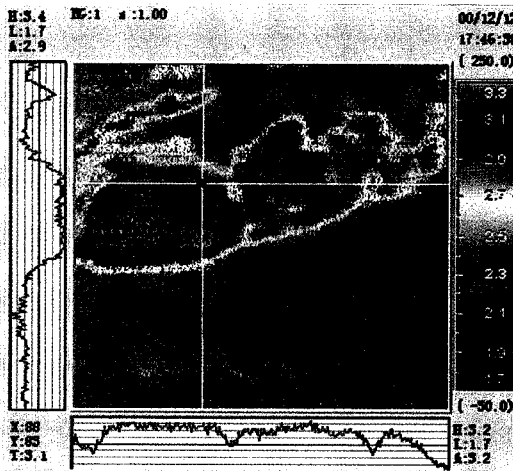
(2) 16:56:38~17:16:18(19分40秒間) 16:58:34、ぼやけた高温部が現れ、徐々に大きくなって、16:57:26には画面全体が高温帯となった。16:57:42の画像を第6図に示す。16:58:22、セルの温度が低下しつつ北風により流されていき、17:03:50、新たなセルが現れた。このとき画面左下に、風により運ばれてきた濃い青色の暗黒吸収領域が17:11:02まで映り続け、セルがまるでリングの炎が燃えるような不思議な形をしていた。17:08:26の画像を第7図に示す。画面白十字線の交点を通る濃い青色の部分が暗黒吸収領域である。ゴミが映らなくなった後、画面上部にセルが現れる。17:12:22、画面全体が明るくなり、その後、温度の昇降を繰り返しつつ、17:16:18に消滅した。17:16:46に小規模セルが発生し、17:17:34に消滅した。17:16:58の画像を第8図に示す。



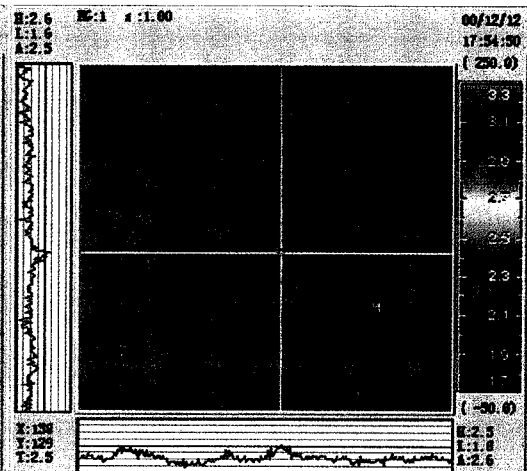
第7図 2000/12/12 17:08:26 (セル, 不思議な形は吸収帯のせい? 最高11.6℃, 最低10.6℃)



第8図 2000/12/12 17:16:58 (セルは17:16:46突然出現し、17:17:34消滅した、上方にはセル, 最高11.5℃, 最低10.6℃)

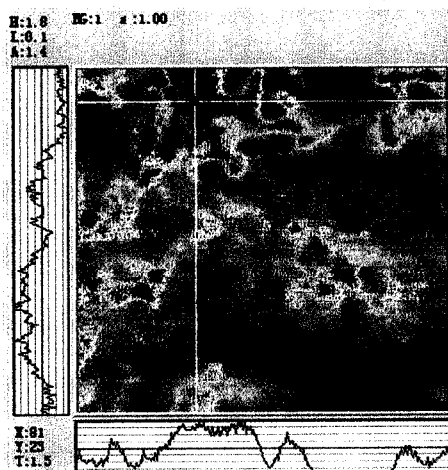


第9図 2000/12/12 17:46:38 (セルは17:51:34右下暗黒帯に吸収された, 最高12.1℃, 最低10.8℃)

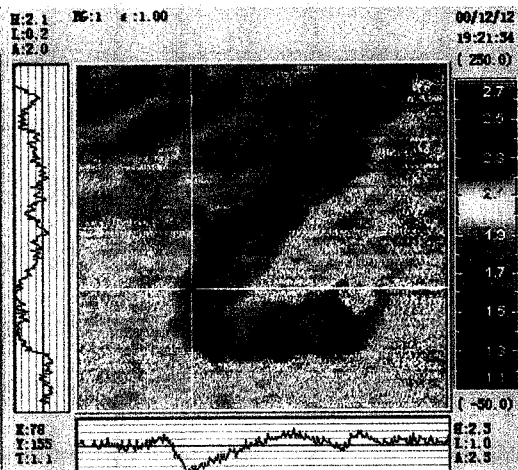


第10図 2000/12/12 17:54:50 (このセルの寿命は17:54:34-17:55:06, 右下は17:54:50-17:55:06, 最高11.5℃, 最低10.8℃)

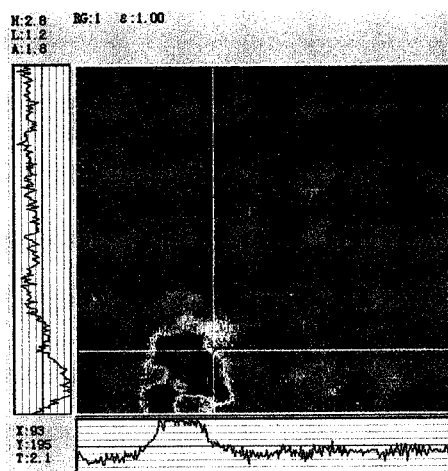
(3) 17:17:34~17:59:10(41分36秒間) 17:18:10, 画面上・下部に大きなセルが現れる. 17:31:38, ゴミはなくなり, 再び画面にセルが現れる. その後北風に吹かれて画面左から高温の甲虫のような形をしたセルが移動してきた. 17:46:38の画像を第9図に示す. セルは甲虫の背中方面に見える暗黒帯に17:46:42頃から徐々に吸収されていき, 縮小しつつ17:51:34画面から姿を消した. この後ははっきりとしたセルは映らなかったが, 画面全体が明るく, 周囲水温よりは温度が高くなっていた. 17:54:50に散発的に現れたセルを第10図に示す. 17:57:30, 画面の左側からゴミが現れ, 17:59:10, セルが消えた. 第11図に示すのは18:29:58に撮影された神経細胞によく似たセル? である. これは本当にセルなのかどうか. セルとしては奇妙な形であり, また第10図以前のセルと比べて著しく低温である.



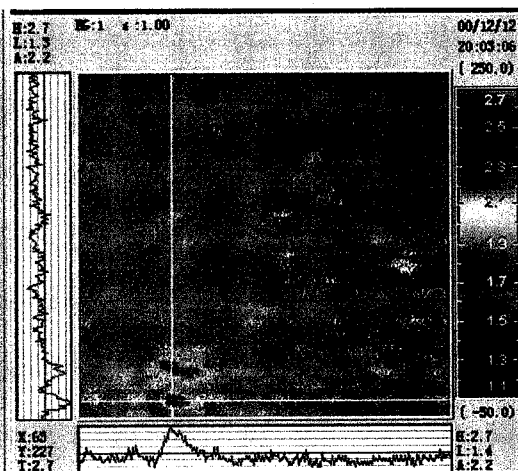
第11図 2000/12/12 18:29:58 (浮遊ゴミ層の下の対流セル, 色調レベルを上げてみている, 最高 11.1℃, 最低 9.5℃)



第12図 2000/12/12 19:21:34 (19:26頃セルは弱まったが, 19:28頃前以上の温度で復活する, 最高 11.3℃, 最低 8.0℃)

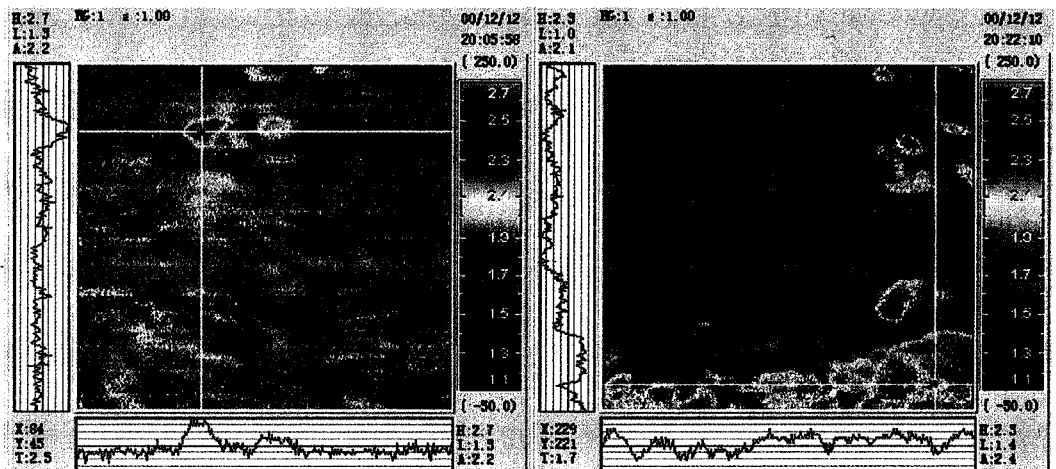


第13図 2000/12/12 19:58:14 (絶頂期のセル, 最高 11.6℃, 最低 10.6℃)



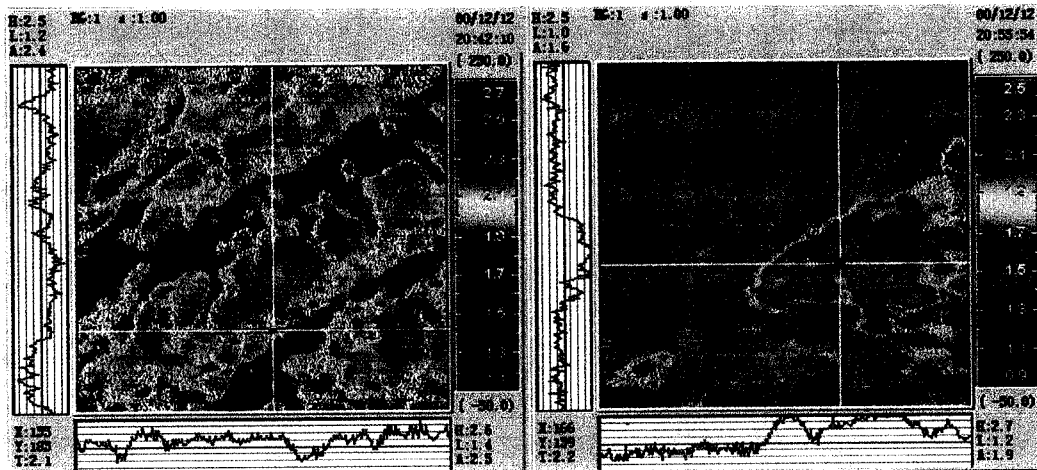
第14図 2000/12/12 20:03:06 (セル 20:02:22-20:03:26, 最高 11.6℃, 最低 10.5℃)

- (4) 18:53:58~19:12:30(18分32秒間) 小型低温のセルが散発的に風に吹かれて漂う。直径は20-50 cmくらいのもが多い。
- (5) 19:12:34~19:29:22(16分48秒間) 小型セルは密集して低温大規模セルとなり、風により南北に漂う。ゴミと思われる黒いものも映る。19:21:34の画像を第12図に示す。
- (6) 19:29:26~19:56:54(27分28秒間) 大小の低温セル(温度11.3℃くらい)が2分から5分間隔で増減を繰り返す。
- (7) 19:56:58~19:59:14(2分16秒間) 19:56:58, 画面左下に小型で高温のセルが現れる。セルは拡大して周囲のセルと結合し、19:58:14に最大となった(第13図参照)。その後徐々に縮小し、19:59:14に消滅した。
- (8) 20:01:30~20:03:34(2分4秒間) 20:01:30, 画面左下にセルが現れる。その後拡大したものの、20:03:06(第14図)からは徐々に縮小し、20:03:34に消滅した。
- (9) 20:04:58~20:12:26(7分28秒間) 20:04:58, 画面上部に不鮮明なセルが現れる。左下のセルはすぐに消えたが、画面上側のセルは拡大した。20:05:46にはセルが増加する。20:05:58の画像を第15図に示す。20:06:42画面右下にも高温の大規模セルが現れる。20:10:06頃からセルが移動し、20:12:26には画面から姿を消した。
- (10) 20:13:42~20:14:26(44秒間) 20:13:42, 小型セルが現れ、20:14:26に消滅した。
- (11) 20:19:14~20:19:54(40秒間) 20:19:14, 小型セルが現れ、南風で画面から去る。
- (12) 20:19:54~20:52:50(32分56秒間) 20:19:54, 画面の下部に高温の大型セルが現れる。様々な形を変えつつ、徐々に画面上方に移動。20:22:14の画像を第16図に示す。図右下の緑色低温部の移動速度を距離と時間から計算すると、約0.19m/sであった。この間セルは動いておらず、この速度はセルの湧き出しによる移動速度であろう。20:31:30, 南東風によりセルは画面左下へと移動。20:42:10, 画面全体に大規模セルが現れる(第17図参照)。20:45:50風が止み、セルは画面右上へと押し戻され、20:52:50, 画面上方へ去った。
- (13) 20:52:50~21:22:22(29分32秒間) 20:52:50, 上述したセルが画面から去るのと入れ替わりに、最初画面右下から、ついで画面右から中規模セル(直径1.8m)が現れた。セルは画面左上方へと移動しつつ、画面右上から左下へななめに連なる吸収線(あるいは消滅線)に連続的あるいは断続的に



第15図 2000/12/12 20:05:58 (20:08:50頃中程度のセルに成長した, 最高11.6℃, 最低10.6℃)

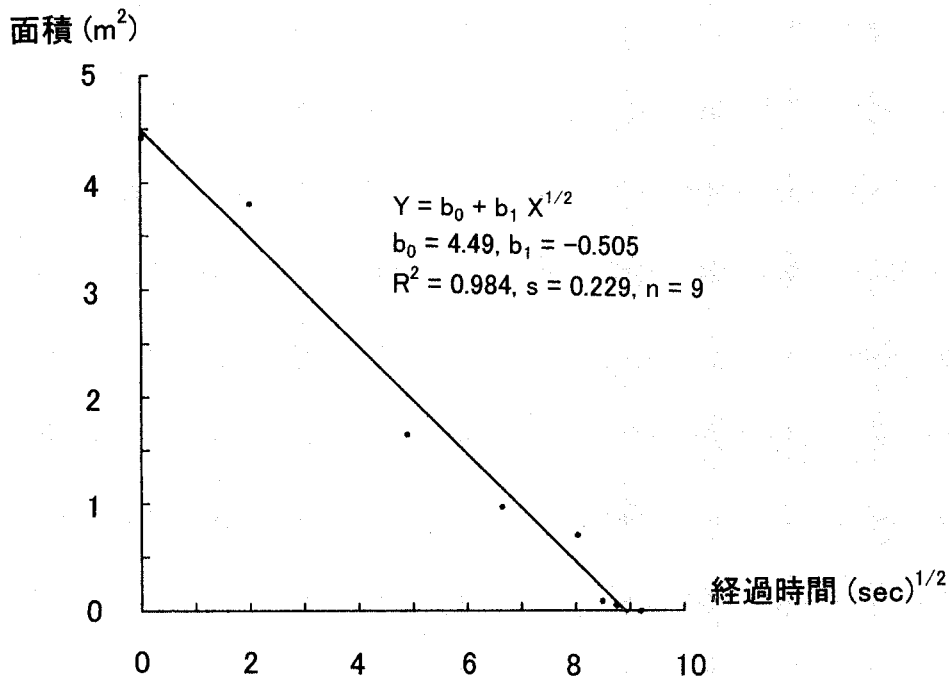
第16図 2000/12/12 20:22:14 (低温セルの移動により表面流の速度を概算できる, 最高11.5℃, 最低10.3℃)



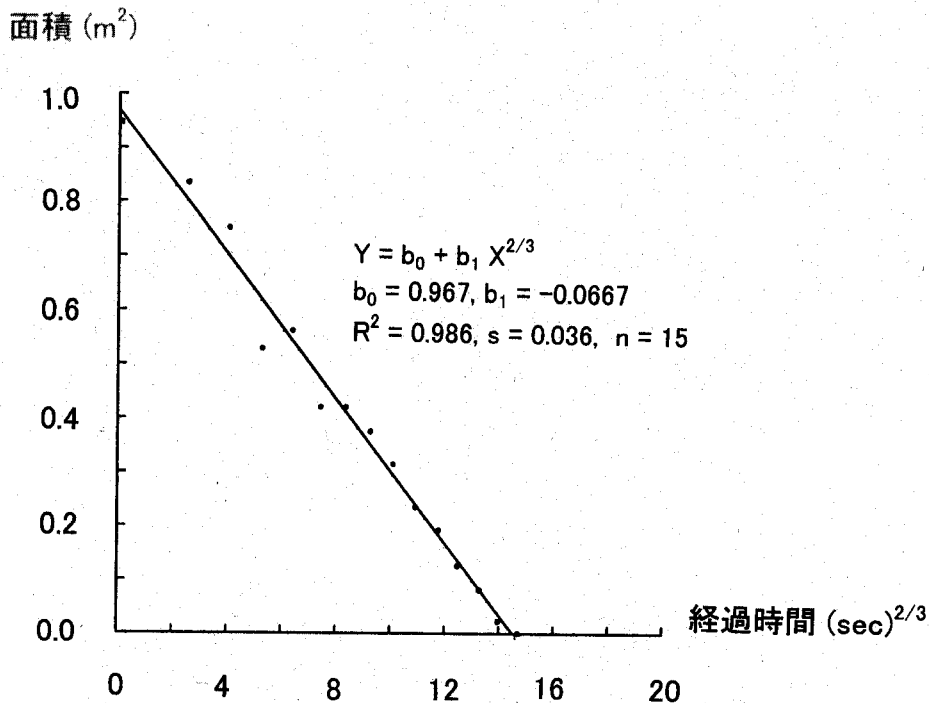
第17図 2000/12/12 20:42:10 (フィヨルドのようなセル, 最高11.5°C, 最低10.4°C)

第18図 2000/12/12 20:55:54 (セルが右上から左下に走る吸収線に吸い込まれていく, 20:59:30頃消滅, 最高11.6°C, 最低10.5°C)

消えていった. このときの様子を第18図に示す. このセルは20:59:26に消滅した. その消滅直前の84秒間(20:57:58-20:59:22)の, 経過時間 X (sec)の1/2乗とセルの面積 Y (m^2)との関係を第19図に示す. セルの面積は, たまたま著者らがセルを観察するのに用いた level と sense により現れたセル画像のそれであり, その意味では若干普遍性に欠けるが, やむを得ない. このとき, 単回帰式は $Y = 4.49 - 0.505 X^{1/2}$ であった. 回帰の決定係数(相関係数の自乗) $r^2 = 0.984$, 標準誤差 $s =$



第19図 経過時間 (X) $^{1/2}$ とセルの面積 (Y)の推移(開始 2001/12/12 20:57:58; 終了 20:59:22)

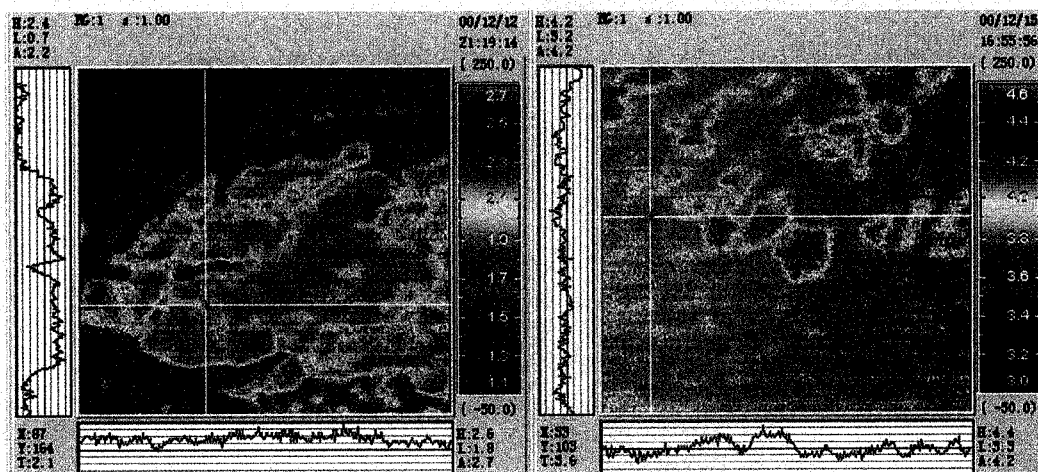


第20図 経過時間 (X)^{1/2}とセルの面積 (Y) の推移 (開始 2001/12/12 21:01:38; 終了 21:02:34)

0.229, データ数 $n = 9$ であった。ここで、 X のべき指数 $1/2$ は、べき指数を 0.01 刻みで変化させて回帰分析をしたときの標準誤差 s が、べき指数 0.48 で最小となったので、これに近い $1/2$ 乗をとって表した。 $X_1 = X^{1/2}$, $X_2 = X$ と 2 つの説明変数を用いて、 Y に対する重回帰をとったときの自由度調整済み重相関係数の自乗は $R^{*2} = 0.981$ となり、説明変数が $X^{1/2}$ 1 つだけをとった単回帰の決定係数 $r^2 = 0.984$ よりも小さかったので、 Y は 2 つの説明変数 $X_1 = X^{1/2}$, $X_2 = X$ を用いて表すよりも、ただ 1 個の説明変数 $X^{1/2}$ の単回帰式で表すのが適当である。20:58:06には画面下から別のセルが現れ、21:02:34に消えた。21:01:38~21:02:34の56秒間の、経過時間 X (sec) の $2/3$ 乗とセルの面積 Y (m²) との関係を示す。単回帰式は $Y = 0.97 - 0.0667 X^{2/3}$, 回帰の決定係数 $r^2 = 0.986$, 標準誤差 $s = 0.036$, データ数 $n = 15$ であった。これも X のべき指数を 0.01 刻みで変化させて、 s が最小となるのが 0.67 乗であったので $X^{2/3}$ で表している。説明変数を $X_1 = X^{2/3}$, $X_2 = X^{4/3}$ としたときの重回帰の自由度調整済み重相関係数の自乗は $R^{*2} = 0.984$ となり、説明変数が $X^{2/3}$ だけの単回帰のときの決定係数 $r^2 = 0.986$ よりも小さかったので、 Y は $X^{2/3}$ の単回帰式で表すのが適当である。21:15:06に風によって運ばれてきた大規模セルが画面右に映るようになり、21:18:54には画面全体を覆った。21:19:14, セル最盛期の画面を第21図に示す。豚の形のセルが吸収帯 (黒線) と押し合いへし合いしつつ21:22:22, 画面から姿を消した。

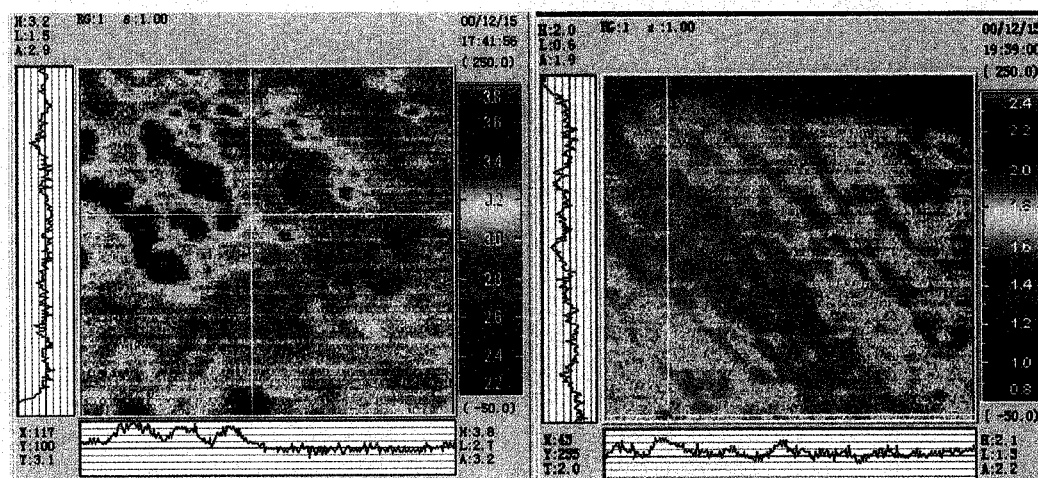
12月15日 快晴で風が少し吹いていた。16:55:56から撮影を開始し、22:29:08に終了した。月は22:27頃には出ていた。16:56:28から大きなゴミの塊が画面右側に映る。その後大きなゴミが去った後も、小さなゴミが19:39:56まで浮かんでいた。その後20:45から再びゴミが映り始め、撮影終了まで続いた。この間対流セルが数多く観測された。

対流セルの状況は次のとおりであった。



第21図 2000/12/12 21:19:14 (セルが左斜め上の暗黒領域と押し合いをして後、22:22:22画面から去った、最高11.5℃、最低10.3℃)

第22図 2000/12/15 16:55:56 (明るいセルは16:58頃、また周囲のセルは17:13:32-17:20:52頃11.9℃まで低下して消滅、最高12.6℃、最低11.8℃)



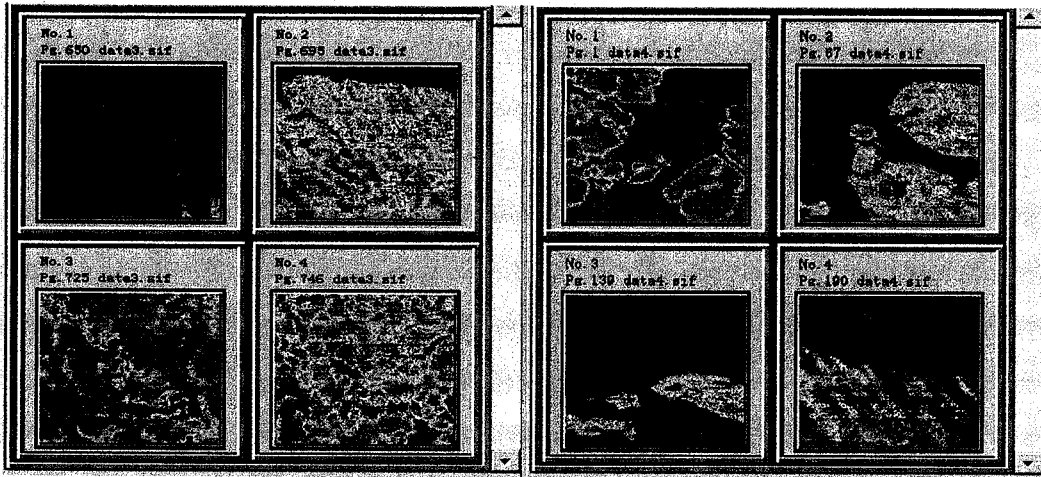
第23図 2000/12/15 17:41:56 (画面左上から現れ、徐々に大きくなった高温セル、著しい低温部はゴミ、最高12.3℃、最低10.8℃)

第24図 2000/12/15 19:39:00 (寿命推定19:35頃-20:46:28頃、左上-中央下の青い筋はこの後も存続する吸収帯、最高11.2℃、最低10.1℃)

- (1) 16:55:56~16:58:32(2分36秒間) 16:55:56, 小さなセルが画面の上半分に現れた(第22図参照). 16:56:44には画面右側に大きなゴミの塊が映りこんできた. セルは小さくなって16:58:32には消えた. ゴミがかなり広がってきていた.
- (2) 17:37:12~17:44:48(7分36秒間) 徐々に水温は低下し, 17:37:12に小さなセルが現れた. 17:38:40から東風が吹いて中くらいの規模のセルが画面上方から下方へと移動し, 17:41:56には高温のセルが現れた(第23図参照). 1分後風が止んでセルが画面上方に押し戻され, 小さくなりながら17:44:44, 画面から消えた. 小さなゴミが点在していた.
- (3) 19:08:04~19:11:28(3分24秒間) 19:08:04, 画面右上にセルが現れた. セルは徐々に小さくなって19:11:28に消えた. 画面に小さなゴミが映っていた.
- (4) 19:12:20~19:13:44(1分24秒間) 19:12:20, 南東の風で画面右上にセルが現れたが, 風が止

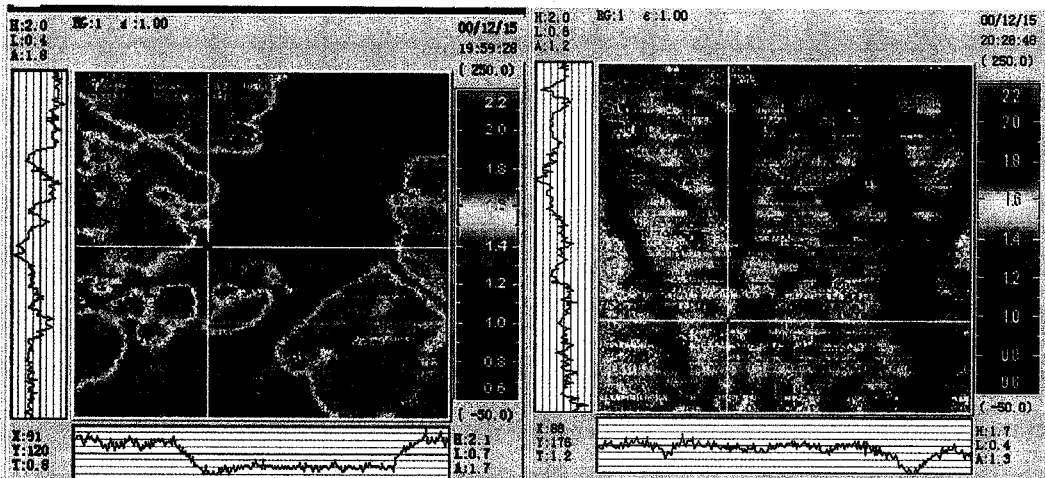
んで画面右上に押し戻され、19:13:44、セルは去っていった。

(5) 19:35:32~20:41:08(1時間5分36秒間) 19:35:32、画面右下にセルが現れる。セルは画面の下から上へと移動していき、19:39:00には画面全体が巨大なセルで覆われた(第24図、第25図No.2参照)。19:39:56までは画面にゴミが映っていたが、巨大なセルが画面全体を覆うと、ゴミは無くなった。19:43:00、セルが少し分かれてきた。その後セルは徐々に分裂し、低温領域が増えていった。19:55:00には南風のため画面右側から左側へとセルは徐々に流されていった。時折、強風となり、セルの形が細長くなった。19:56:52~19:58:00、風の影響か反時計まわりに回転するように画面の中心を囲んでセルが集まってきた(第26図No.1、第27図参照)。このときセルは舞うように中央の青い帯域を中心として左回転しつつ外周へと消えていった。20:28:48、やや低温の巨大セルが画面下方から湧き出してきた(第28図参照)。画面右方に縦に映っている青い低温帯はその後もなくならず、20:36:00にセルはバラバラに小さくなり、20:41:08に消滅した。



第25図 2000/12/15 (19:36:00, 19:39:00, 19:41:00, 19:42:24)

第26図 2000/12/15 (19:59:24, 20:03:48, 20:08:36, 20:12:00)



第27図 2000/12/15 19:59:28 (右上の青い領域を中心として左回転しているように見える、最高11.2℃、最低10.1℃)

第28図 2000/12/15 20:28:48 (画面下方からわき出すように出現、最高11.1℃、最低10.1℃)

(6) 20:42:20~20:46:36(4分16秒間) 20:42:20, 南東の風によってセルが画面上部に現れる。風は吹き続け、セルは20:46:36には画面から去った。画面にゴミが映っていた。

12月21日 16:08:37に撮影を開始し、21:41:49に撮影終了した。カメラから水面までの距離は4.465mで、撮影開始からのカメラの鉛直線からの角度は8度であったが、画像にテラスとカメラの影が映りこんでいたことと対流セルがやや上方にあったのに合わせるため、18:54にカメラ角を54度に変更した。しかし、19:00頃から撮影範囲にゴミが現れたため、21:24:01にカメラの角度を8度に戻した。

撮影開始時、雲が少しあったが、撮影には影響がなかった。それから撮影終了までは雲はなく、月も出なかった。風が吹き、水面に波が立つことがあった。17:23頃日が暮れた。対流セルは16:12:09から21:41:49まで数多く観測された。ただし次に述べる(15)18:54:41~21:23:57以外は、画面にテラスの影が映りこんでいる。17:12頃から巨大なセルが観測された。画像にゴミが映ったのは17:21~17:27, 19:08~19:13, 19:14~19:21, 19:25~21:23, 21:24~撮影終了までの間で、19:08~21:23には大きなゴミの塊があった。

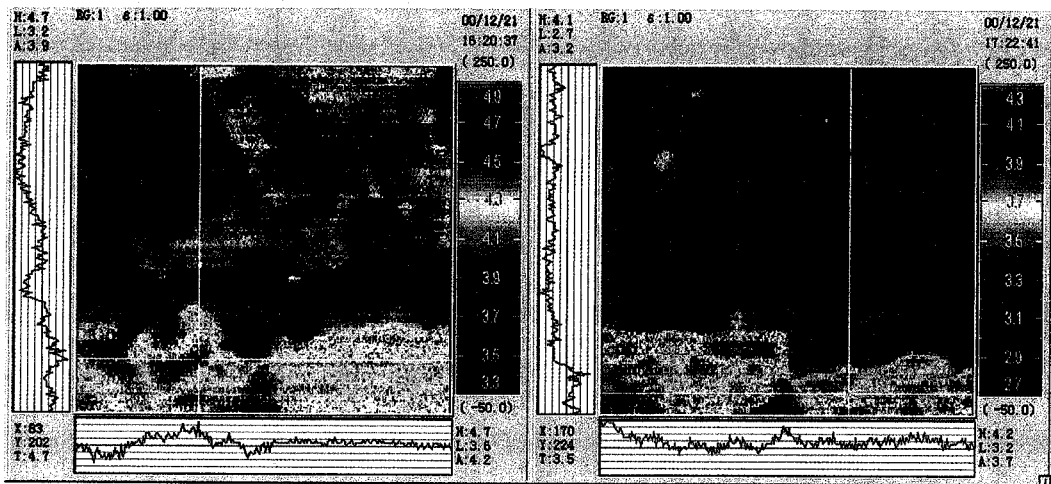
対流セルの状況は次のようであった。

- (1) 16:12:09~16:16:37(4分28秒間) 16:12:09にセルが現れる。風により画面上で反時計回りに移動。16:14:40には南風が吹いてセルは左へ移動し、16:16:37に画面から消えた。
- (2) 16:18:09~16:22:05(3分56秒間) 16:18:09, セルが現れる。東風により画面の上方から下方に移動。16:22:05画面からセルが消える。16:20:37の画像を第29図に示す。
- (3) 16:25:33~16:26:33(1分間) 16:25:33, 東風により画面上方から温度の高いセルが現れる。セルは画面下方へと移動していき、1分後には画面から消えた。
- (4) 16:29:01~16:30:05(1分4秒間) 16:29:01画面上部に高温のセルが現れる。南東風により、左下に移動。40秒後に画面左上に小さなセルが現れ、16:30:05に消滅した。
- (5) 16:30:21~16:32:21(2分間) 16:30:21, 南東風によって画面上部に小さなセルが現れる。16:32:05, 風が止んでセルは画面の左から右へと移動、16秒後セルは消えた。
- (6) 16:32:25~16:34:57(2分32秒間) 16:32:25, 画面左上からセルが現れ、右下へと移動、16:34:09には画面の上半分をセルが覆う。温度が徐々に低下し、16:34:57に消滅した。
- (7) 16:37:41~16:40:09(2分28秒間) 16:37:41, 画面左下にセルが現れる。右下へと移動し、16:40:09に画面から姿を消した。
- (8) 16:41:33~16:42:05(32秒間) 16:41:33, 小型セルが現れる。セルは画面の右下へと移動していき、32秒後に消えた。
- (9) 16:43:13~16:53:37(10分24秒間) 16:43:13, 画面左側にセルが現れる。画面左から右へと移動、16:44:29, 巨大セルが現れ、16:45:37, 画面全体がセルで覆われる。その後も大型セルが次々に移動して来て画面に現れる。16:49:29~16:50:49, 強風によりセルの移動速度が速まる。16:52頃からセルは小さくなり、16:53:37に消滅した。
- (10) 16:53:37~17:00:13(6分36秒間) 16:53:37, 大型セルが去った後、画面左上に小型セルが現れる。セルは右へ移動した。16:55:29, 大きなセルが現れる。その後17:00:13まで大小様々なセルが画面を通過して行った。
- (11) 17:00:45~17:09:25(8分40秒間) 17:00:45~17:03:05, 17:06:09~17:09:25活発にきれぎれの中型セル群が画面左から現れ右に移動。17:09:25, セルが来なくなる。
- (12) 17:12:07~17:17:09(5分2秒間) 17:12:07, 画面下部にセルが出現。上へと移動しようとするが、吸収帯が存在するようで、なかなか進めない。北東風により右下へ流され、17:17:09画面から去る。

(13) 17:17:09~17:24:01(6分52秒間) 17:17:09, 巨大セルが去った後, 小型セルが画面左側から現れる. 膨張しつつ右側へと移動. 17:20:29, 大型セルが画面右下に現れる. セルは右へと移動し続け, まるでテラスの影から湧いて出てくるようであった. 17:21:01 画面に小さなゴミが映り始めた. 17:22:41の画像を第30図に示す. 17:24:01 画面から去る.

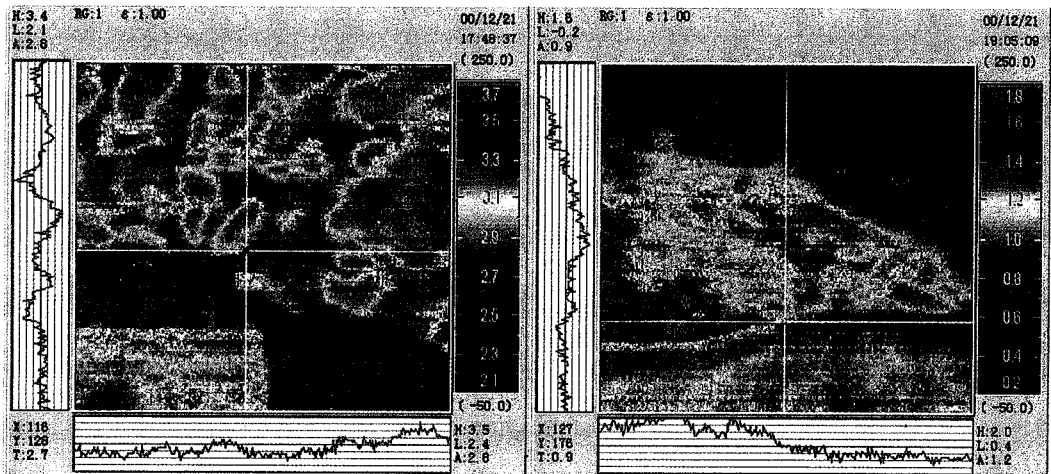
(14) 17:28:33~17:56:05(27分32秒間) 17:28:33, 画面上部からセルが現れ, 東風により画面の下方に移動, 17:33:09には画面全体が巨大なセルに覆われた. 17:35頃からは風向きが北に変わり, セルは画面左から右へと流される. 17:38:21, 小型セルが現れたが, 風は吹き続け, 17:56:05, セルは消えた. 17:48:37の画像を第31図に示す.

(15) 18:54:37~21:23:57(2時間29分20秒間) 画面下半分が大型セルに覆われる. 19:08:49~19:13:49, 19:14:45~19:21:27, 19:25:41~21:23:57の間は, セルとともに大きなゴミが画面に映っている



第29図 2000/12/21 16:20:37(「地中海」, ゴミと風で不鮮明, セルは疾く消えやすい, 16:35:41消滅またはフレーム外へ, 最高12.8℃, 最低11.8℃)

第30図 2000/12/21 17:22:41(左上の2セルは17:22:41-17:23:01, 画面右下方の脈動セルは恰もテラスから湧いているよう, 最高12.6℃, 最低11.4℃, 左上セルは12.3℃)



第31図 2000/12/21 17:48:37(下の青は低温帯, 左下テラス, 最高12.1℃, 最低11.2℃)

第32図 2000/12/21 19:05:09(水平白線の懸かる低温帯(吸収帯)はこの後セルを飲み込んでいく, 最高11.1℃, 最低8.8℃)

た、19:05:09の画像を第32図に示す。

(16) 21:24:01~21:41:49(17分47秒間) 画面左下にテラスとカメラの影が映りこむ。21:24:01から撮影終了まで画面全体が高温のセルに覆われる。小さなゴミが点在。

12月25日 撮影は16:56:22から21:15:26まで行った。撮影終了まで晴れており、雲はなく、8時半頃まで風が吹いていた。20:54:30から21:00:58までは細かいゴミが散在し、21:02:46から撮影終了までは大きなゴミが撮影範囲にあった。強風が吹くことが多く、風向きが一定でなかったため、セルの移動が著しかった。対流セルは撮影終了まで数多く観測されたが、その多くは低温の大型セルまたは風で吹きちぎられたセルであった。しかし18:16:30~20:41:38(2時間25分8秒間)には高温の巨大なセルも観測された。このときのセルは高温ではあったが、風で細長くなり、あるいはきれぎれにちぎれたものが多かった。

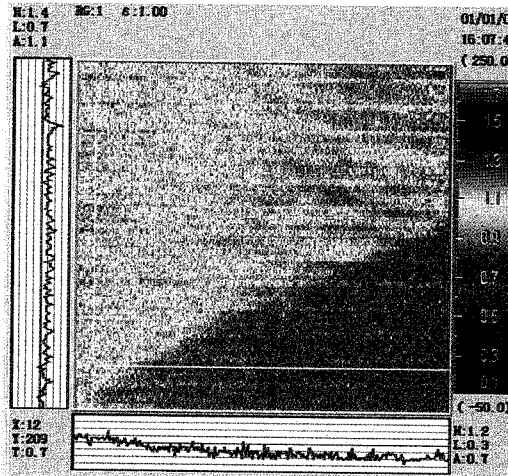
21:01:06、東風で画面上方に高温の巨大なセルが現れる。21:02:34に北風、21:03:46には東風が吹き、セルは画面右方あるいは下方に移動。21:04:38には大型セルと小型セルが混在。21:10:02、画面が高温の巨大セルに覆われる。画面上部に大型セル、中央に大きなゴミ、下部に小型セルが映った状態で21:15:26に撮影を終了した。

1月5日 16:02:27から18:35:19まで撮影した。空は晴れ、月は出ていたが、撮影に影響はなかった。撮影開始当初、撮影範囲にゴミはなかったが、17:45頃から風が止み、ゴミが撮影範囲に近づき、18:34には画面の3分の2がゴミで覆われてしまった。小規模なものから大規模なものまで、多くの対流セルが観測された。

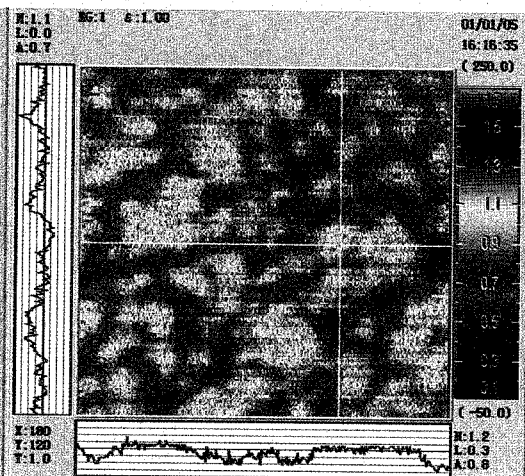
対流セルの発生状況は次のとおりである。

- (1) 16:02:27~16:19:03(16分36秒間) 測定開始直後から最高温度10.7℃最低温度10.1℃程度のセルが観測される。時折東から西に向かって風が吹き、セルは風により変形し、移動する。セルは薄いベールのように水面を滑るかのごとく掛かってくる。セルが風によって運び去られた後、元の水面が元通りの水温で姿を現す。これまで観測したセルとはまるで様子が異なる。16:07:43の無風時の代表的画像を第33図に示す。16:09:55、急に画面全体にセルが広がる。16:13:35、風でセルが文様のようなになる(第34図参照)。16:15:35~16:18:31には連続的に暖かい水が湧昇してきて、セルの温度が上昇と下降を繰り返す。16:18:35、セルの温度が低下し、16:19:03に消滅した。
- (2) 16:23:15~16:28:15(5分間) 16:23:15、セルが現れる。拡大し、1分後には画面上半分を占める。その後セルは徐々に縮小。北風により画面右側に流され、16:28:15消えた。
- (3) 16:28:43~16:30:51(2分8秒間) 16:28:15、画面左端のセルが風で移動して来る。16:29:39までセルの温度は昇降を繰り返す。16:30:51、セルが消滅した。
- (4) 16:32:27~16:42:23(9分56秒間) 16:23:27、多くの小型セルが密集して現れる。セルは徐々に大きくなり、4分後セルの温度が上昇。16:36:27から温度が低下、16:37:27に最低、16:39:27には再度上昇し、16:41:23、セルは収縮、16:42:23消滅した。
- (5) 16:55:11~17:04:47(9分36秒間) 16:55:11、画面上側に大型セルが現れる。風で画面の右側に流され、17:04:47、画面から姿を消した。17:00:47の画像を第35図に示す。
- (6) 17:15:19~17:35:27(20分8秒間) 上流側から風が吹き、17:15:19、画面上側にセルが現れる。17:23:27までセルは拡大し続ける。17:24:27から南風に変わり、セルは画面右側から左側へと移動、17:27には画面に映らなくなる。小さなセルが徐々に大きくなり、西風により画面上方にセルが移動、17:35:27、画面に映らなくなった。
- (7) 17:55:55~18:17:31(21分36秒間) 17:55:55、画面全体の水温が上昇、右上に高温セルが映る。

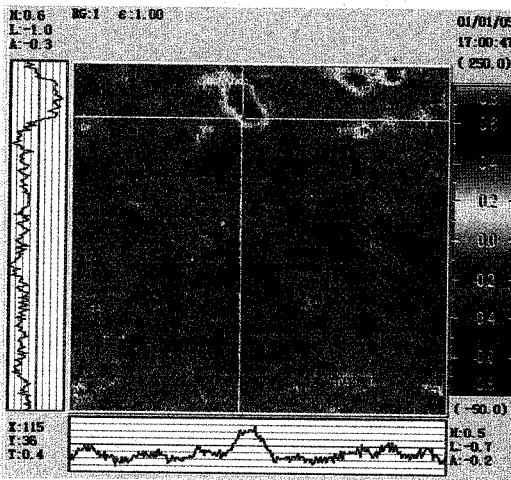
東風によりセルは画面下側へと移動。18:00:31の画像を第36図に示す。セルの左側の線は吸収帯で、セルは吸収帯に吸い込まれつつも、左へ進もうとしているように見える。北風により18:02:35セルは画面右へと去った。以後小型・中型セルが出現、拡大、消滅を繰り返し、風に押し流されて 18:17:31, 全てのセルが画面上方へ去った。



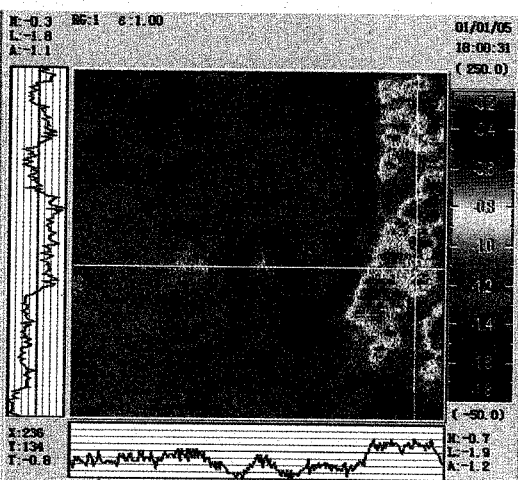
第33図 2001/01/05 16:07:43 (低温部にセルが薄く広がる, 最高11.1℃, 最低10.1℃)



第34図 2001/01/05 16:16:35 (きれぎれが再結集, 一度風で消えた後, 16:21頃大規模セルに復帰, 最高10.7℃, 最低10.1℃)



第35図 2001/01/05 17:00:47 (セルの寿命, 16:57:07~17:02:59, その右のセルは17:05:19までもつた, 最高10.3℃, 最低9.3℃)



第36図 2001/01/05 18:00:31 (画面右手のセルは, その左手の青い線(吸収帯)ではばまれていく, 最高9.7℃, 最低8.7℃)

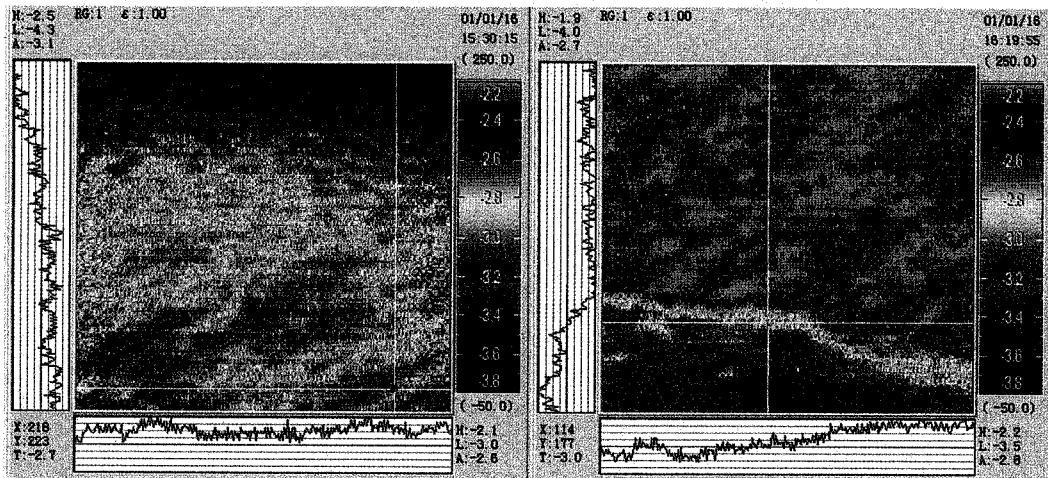
1月16日 撮影は15:30:15~20:44:23までの約5時間で、撮影開始時、カメラ光軸の鉛直からの角度は記録にないが約32度くらいであった。15:32:11, カメラ角を鉛直線から13度にした。この間画像にテラスとカメラの像が映り込んだ。上方に移動したセルを追って16:19:11, 再度カメラの角度を24度くらいに変えた。17:55日が暮れた。月はなく、風が吹いており、おおむね晴れていた。16:40頃一時雲が出ていたが、撮影には影響がなかった。撮影中、対流セルが多く観測された。細

かいゴミが17:23~19:39, 19:48~20:04, 20:13~20:31の間, 撮影範囲に浮かんでいた。

対流セルの状況は次のとおりである。

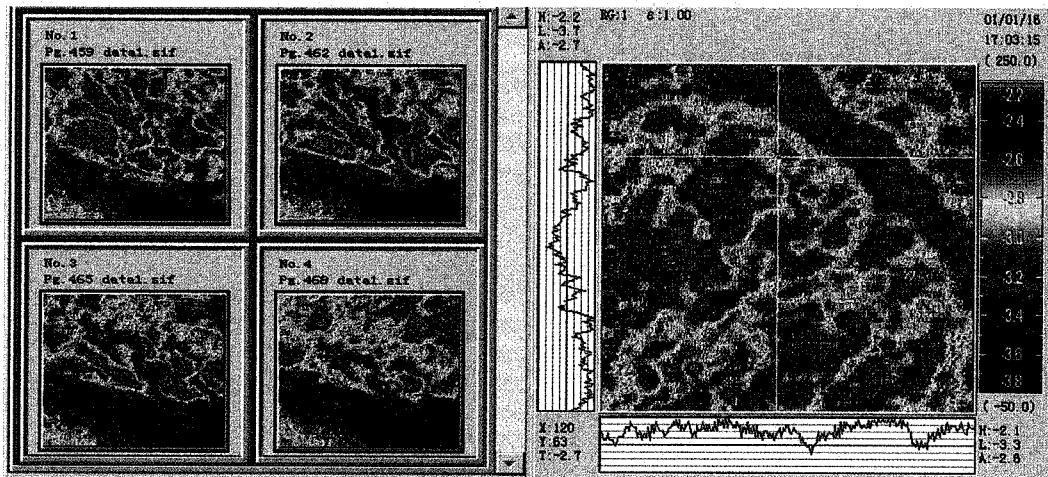
- (1) 15:30:15~15:32:07(1分52秒間) カメラ角度は鉛直から32度くらいで撮影を開始する。15:30:15の画像を図37に示す。遠方が黒く沈むのは水平近くでの撮影を行ったときのサーモレーサの特性である。画面の下半分にセルが映る。15:32:11カメラ光軸角度を鉛直線から13度に変えた。
- (2) 15:32:11~15:34:51(2分40秒間) 15:32:11, 風で細長くなったセルが映っている。15:33:15暖水塊の上昇によると見られるセルの温度上昇が起こる。40秒後温度は低下。東風により画面下へと急速に移動するセル群が続いた。
- (3) 15:34:55~15:37:43(2分48秒間) 15:34:55, 依然として画面下方に向かうセル群が続く。15:35:27セルが増加, 15:36:15, セルの温度が上昇する。
- (4) 15:37:47~15:41:19(3分32秒間) 15:37:47, 画面一杯に高温の大型セルが現われる。15:37:55, セルで全画面が覆われる。15:38:23, セルは小さく少なくなり, この状態が19:41:19まで続いた。
- (5) 15:41:23~15:42:35(1分12秒間) 15:41:23, 小型セルが上方から現れ, 拡大し, 15:41:51画面上半分がセルとなる。後, 温度が低下, 15:42:35, 東風で画面から去る。
- (6) 15:42:39~15:48:59(6分20秒間) 15:42:39, 再び大型セルが現れる。15:47:43, 全画面小型セルに覆われる。東風により下方へと移動。15:39:03, セルの温度が低下, 15:48:15, 温度が上昇, 強風のため15:51:19まで流されてゆくセルが多数観測される。
- (7) 15:51:23~16:03:39(12分16秒間) 15:51:23, 大型セルが画面左側から現れる。15:52:31, 風により多数の小型セルに分裂, 15:53:43, 強風にもかかわらず画面全体が高温(セル)となる。15:55:19, 強風により温度が低下し分裂, 15:57:47, 東風により画面の上方から中・大型セルがバラバラと流れてくる。15:59:35, 画面右下に吸収帯が現れ, セルが消滅。16:00:43, 吸収帯は画面下方1/3を占めるに至る。風が止み, 吸収帯とともにセルは画面上方へと移動, なおも吸収帯は拡大を続け, 16:03:59にはほぼ全画面を覆う。第38図に大型セルが吸収帯に飲み込まれていく過程(16:00:47~16:01:23)を示す。
- (8) 16:07:19~16:10:15(2分56秒間) 16:07:19, 画面の温度が上昇, 16:07:35, 画面の右半分には小型セルが多数出現。その後セルの温度が低下し, 16:10:15に消滅した。
- (9) 16:10:23~16:19:07(8分44秒間) 16:10:23, 強風により高温で巨大なセルが画面上方から現れ, 16:10:43画面全体が高温の巨大セルに覆われる。16:11:47~16:11:55, 画面下1/4付近に吸収帯が出現し, やがて全画面を覆い, 16:19:07画面にセルは映らなくなった。16:19:11カメラ角度を約24度(推定)とする。
- (10) 16:19:11~16:28:39(9分28秒間) 16:19:11, 東風により全画面に高温のセルが現れる。16:19:55の画像を第39図に示す。この状態が約2分間続き, 16:21:31, 吸収帯が画面下側から現れる。吸収帯は勢力を伸ばすが, やがて画面下方に押し下げられ, 16:24:11再び上に向かって伸張し, セルは後退。16:28:39, 画面全体が吸収帯に覆われる。
- (11) 16:29:31~16:36:03(6分32秒間) 16:29:31, 画面全体に小さなセルが多く現れる。16:32:39, セルの温度が少し低下し縮小。16:33:59, 北東風により右下方向へと移動。
- (12) 16:35:19~16:37:11(1分52秒間) 16:35:19, 画面上方から高温セルが現れる。吸収帯の中に消滅。16:35:31, 風が止み, 右上へと押し戻され, 16:37:11画面から去る。
- (13) 16:41:15~17:15:07(33分52秒間) 16:41:15, 東風によりセルが画面上方に現れる。徐々に下方に移動, 16:46:27, セルが画面全体を覆う。16:47:55, セルは縮小。南風により画面の右から左へと移動。19:56:47, 風が強まる。16:58:31, 東南風に乗り大型セルが現れる。17:01:43, セルは

小さく分裂, 17:03:03, 突然太く長い棒状のセルが現れる. 17:03:15の画像を第40図に示す. 17:07:27, 風が止み, セルは画面の左から右へと押し戻される. 17:15:07, セルは消滅した.



第37図 2001/01/16 15:30:15 (遠方が青黒いのはサーモレーサの感度が低下するため, 最高8.6℃, 最低7.6℃)

第38図 2001/01/16 16:19:55 (再度現れた巨大セル, 最高8.8℃, 最低7.4℃)



第39図 2001/01/16 (16:00:47, 16:00:59, 16:01:11, 16:01:23, 画面下方の暗黒部が上方のセル群を飲み込んでいく) 第40図 2001/01/16 17:03:15 (棒状セル, 最高8.6℃, 最低7.6℃)

考 察

今回の調査を前回(1999年度)までの調査と比較しつつ, 明らかになった事項を示す.

(1) 前回調査では, 対流セルが発達するのは11月初めからで, それも12月半ばまでは小型セルが卓越し, その後は大型セルが卓越した. 今回調査では11月1, 2日の豪雨の影響で11月半ばまで湖水が濁り, 放流も行われていたため, 調査時期が11月27日以降にずれ込んだ. 11月27日の調査では, データ収録には失敗したが, はっきりとした大規模対流セルが映っていた. その後12月, 1月の調

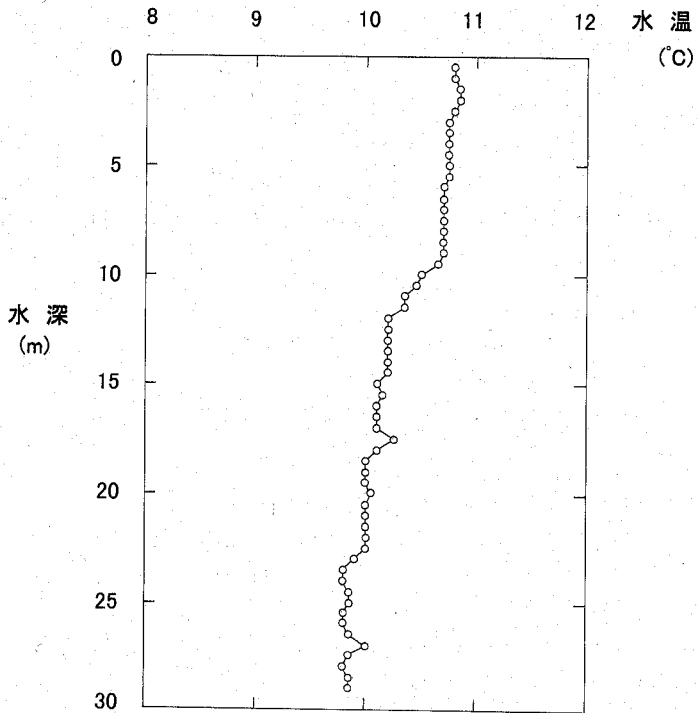
査でも、小型セルだけということではなく、常に大型セルと小型セルが同時または時間を相前後して映った。このことから、今年は昨年までと何が違うのかとみると、まず目についたのは水温プロフィールの違いである。1999年12月16日の21:25の水温プロフィールを第41図に、この日の22:07:51の小型セルの画像を第42図に示す。また、2000年12月12日16:55~17:15の水温プロフィールを第43図に示す。第6図を見ると分かるように、12月12日の16:57:42には大型セルが現れていた。つまり、第41図と第43図との違いが小型セルだけが現れるときと大型セルが現れるときの水温プロフィールの違いということになる。そしてその違いは水温躍層の有無にあると思われる。すなわち、水温躍層がはっきりとした水温プロファイルのときには小型セルが卓越し、秋季の豪雨などで躍層が破壊されて水温躍層が明確でない場合には、大型セルが卓越するということになる。

(2) 1999年1月7日、9日の調査においては、セルこそ出てはいたが、概してセルと周囲の水温との差の小さい、輪郭のはっきりしないものがほとんどであった¹⁾。それで2000年には1月の調査は意義が小さいと判断して観測を行わなかった。ところが第38図に示すように2001年1月16日には大型セルが出現した。このときの水温プロフィールを第44図に示す。ゆるやかに変化する水温プロフィールの形状は、第43図とも共通するものである。このことから、対流セルの出現型は時期がどうかというよりも、水温プロフィールがどのような分布形状であるかに関係があると思われる。

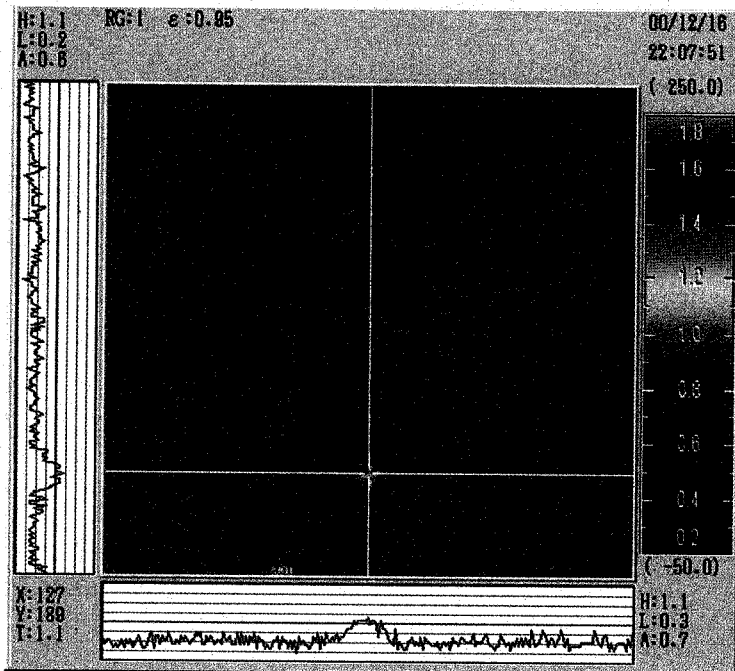
(3) 対流セルは連続的に湧昇し、同時に辺縁部では連続的に沈降するため、セルの大きさだけを見ていても湧昇速度や流束は分からない。しかし、12月12日20:22:14の、セル中を移動する低温水塊の時間毎の位置変化から、セルの湧き出し速度を約0.19 m/sと算定することができた(第16図参照)。セルの層厚が分からないのでこれだけでは上昇流束までは分からないが、今後の観測によって相対的な湧昇速度が分かれば、あるいはセルの層厚を何らかの方法で調べることができれば、湧昇速度も分かるかも知れない。

(4) 風で画面から去るのではなく、自然に消滅するセルに着目して、セルの面積と経過時間との関係を調べた。それによるとセルの面積 Y (m^2) は、12月12日の20:57:58~20:59:22においては経過時間 X (sec) の1/2乗に比例し、また同日21:01:38~21:02:34においては、経過時間 X の2/3乗に比例した。この違いは風の強さや表層水温と接水気温との差に関係があると思われるが、今後データを蓄積を待って検討したい。

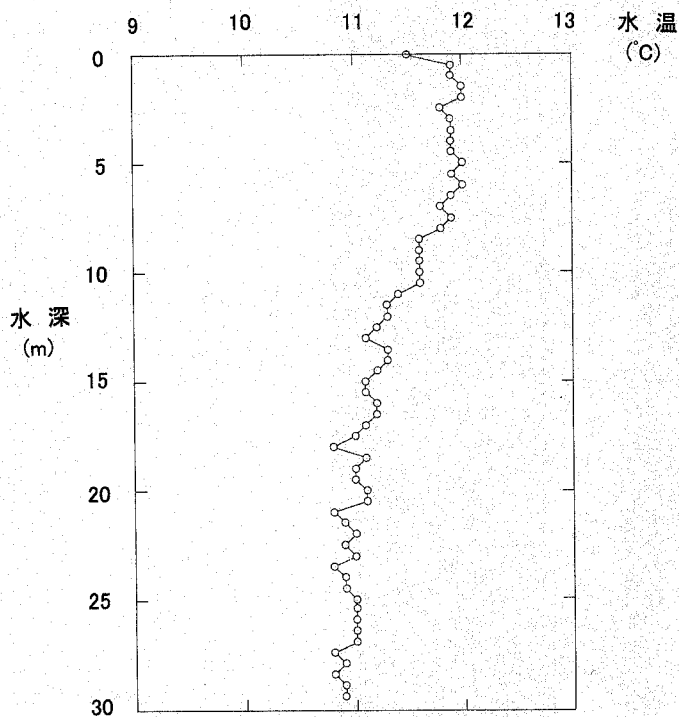
(5) 画面を見て奇妙なことは、大型セルが現れるとしばしば低温の吸収帯(消滅帯)が現れることである(例えば第7, 9, 12, 18, 21, 24図, 第26図のNo.1, 2, 3, 4, 第31, 32, 33, 36, 39図)。この正体は果たしてゴミの層なのか、はたまた何らかの事情で生じた固定したセルの沈降場所なのか、吸収帯が風で移動するからといってゴミと決めつけることはできない。ゴミならば黒々と映るであろうし、第33図のように直線的なのは不自然である。水面に固定的にできた沈降場所だとすると、あれほど高温の巨大セルがやすやすと一定した場所で沈降していくものなのだろうか。この点の解明は今後の課題としたい。



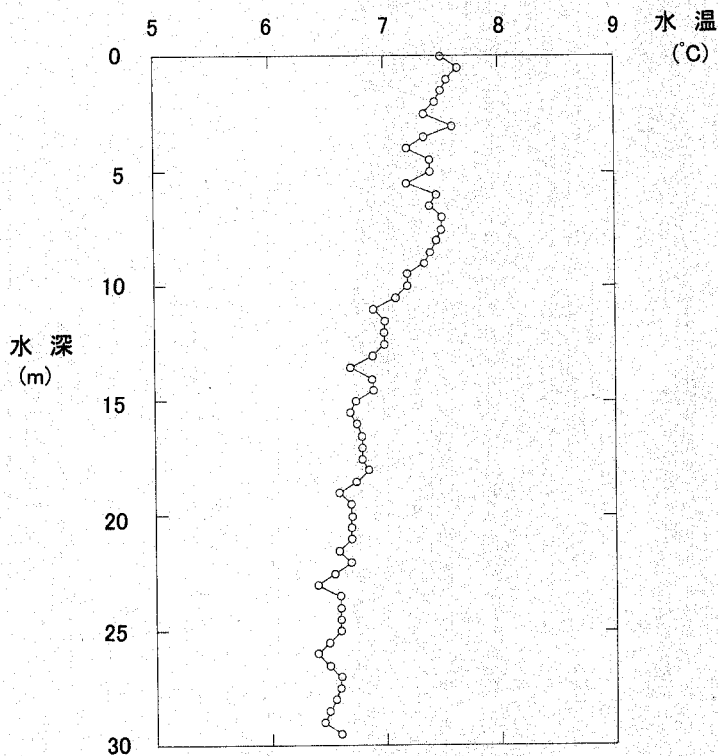
第41図 1999年12月16日 21:25の水温プロフィール



第42図 1999/12/16 22:07:51 (対流セル 22:07:39-22:08:59, キャリブレーション式 $Y = 9.86 + 0.701X$, 最高 10.6°C, 最低 9.9°C)



第43図 2000年12月12日 16:35~17:15の水温プロフィール



第44図 2001年1月16日 15:33~16:18の水温プロフィール

要 約

次のことが明らかになったと考える。

- (1) 対流セルの出現とその規模は、水温プロフィールに依存する。
- (2) 水面を広がりつつ移動するセル水塊の移動速度は、12月12日の観測結果では約0.24 m/sであった。
- (3) 消滅過程にあるセルの面積は、経過時間の1/2乗または2/3乗に比例した。
- (4) 大型セルの出現時には、セルを消滅させる直線または曲線状の吸収帯(消滅帯)が存在した。

引用文献

- 1) 和泉辰男・紙井泰典・近森邦英：赤外線放射温度計による鏡ダムの対流現象に関する研究，高知大学学術研究報告 第48巻自然科学，1-31 (1999)。

平成13(2001)年10月3日受理

平成13(2001)年12月25日発行

(資料)

付表1 12月4日-5日の気象観測データ

時刻	風向	風速 (m/s)		温度 (℃)	湿度 (%)	気圧 (mb)	水温 (℃)	蒸発 (cm)
		平均	最大					
10:00	E	2.9	5.8	11.4	73.1	1015.5	12.2	-
11:00	SE	5.5	10.6	12.7	46.1	1015.5	12.3	-
12:00	SE	2.4	8.2	14.3	56.2	1015.4	12.4	-
13:00	E	3.4	8.7	14.0	54.7	1015.4	13.4	-
14:00	SE	3.2	6.0	14.3	43.5	1015.3	12.5	-
15:00	SE	1.2	5.7	13.4	61.0	1015.3	12.7	-
16:00	E	1.8	3.0	13.6	48.0	1015.3	12.7	-
17:00	E	1.0	2.5	11.0	59.9	1015.5	12.6	-
18:00	E	0.9	2.8	8.9	72.7	1015.8	12.6	-
19:00	SE	0.6	1.5	7.5	89.4	1016.4	12.6	-
20:00	E	1.7	2.3	6.5	97.0	1016.3	12.4	-
21:00	E	1.5	3.1	5.8	99.9	1016.9	12.5	-
22:00	E	1.9	3.2	5.2	99.8	1016.9	12.6	-
23:00	SE	1.7	3.0	4.8	99.0	1016.9	12.3	-
0:00	E	0.8	3.0	4.2	99.7	1016.9	12.3	-
1:00	E	2.4	3.3	3.9	99.8	1016.9	12.2	-
2:00	E	1.5	3.7	3.5	99.8	1016.9	12.2	-
3:00	E	1.1	3.2	3.4	99.8	1016.9	12.2	-
4:00	E	2.0	3.9	3.2	99.7	1016.9	12.2	-
5:00	E	2.1	3.4	3.0	99.6	1016.8	12.2	-
6:00	E	1.7	3.7	3.0	99.9	1016.8	12.1	-
7:00	E	1.2	3.3	2.9	99.7	1016.9	12.0	-
8:00	E	1.6	3.1	3.3	99.8	1016.9	12.0	-
9:00	E	1.0	2.6	5.5	99.7	1016.9	12.0	-

(注) 高知県鏡ダム管理事務所観測

付表2 12月7日-8日の気象観測データ

時刻	風向	風速 (m/s)		温度 (℃)	湿度 (%)	気圧 (mb)	水温 (℃)	蒸発 (cm)
		平均	最大					
10:00	S	0.1	2.1	9.1	85.5	1024.4	11.6	-
11:00	S	0.1	1.8	11.1	68.3	1024.4	11.8	-
12:00	SE	1.4	4.2	12.8	48.6	1024.2	11.9	-
13:00	E	1.4	4.2	14.3	45.1	1024.0	11.9	-
14:00	E	2.3	4.7	14.9	40.8	1023.7	12.2	-
15:00	E	1.7	4.7	14.5	47.8	1023.7	12.1	-
16:00	SE	0.8	4.6	12.8	48.2	1023.7	11.9	-
17:00	S	0.0	1.7	10.4	70.4	1023.8	11.8	-
18:00	S	0.0	1.4	10.0	91.4	1023.9	11.8	-
19:00	SE	0.7	1.4	8.8	94.3	1023.9	11.7	-
20:00	E	1.3	2.8	8.3	99.8	1024.0	11.7	-
21:00	E	0.8	2.9	7.9	99.8	1023.9	11.7	-
22:00	E	1.3	2.8	7.6	99.8	1024.9	11.7	-
23:00	SE	1.3	2.4	7.7	99.7	1023.9	11.6	-
0:00	E	1.1	1.8	7.5	99.7	1023.9	11.6	-
1:00	E	0.6	2.5	7.2	99.8	1023.9	11.6	-
2:00	E	0.8	1.7	7.0	99.8	1023.9	11.8	-
3:00	E	1.3	2.7	6.5	99.8	1023.9	11.6	-
4:00	SE	0.9	2.7	6.2	99.7	1023.8	11.6	-
5:00	E	1.1	2.5	5.8	99.7	1023.8	11.6	-
6:00	E	1.6	2.6	5.2	99.8	1023.8	11.5	-
7:00	E	1.5	3.3	5.1	99.7	1023.8	11.6	-
8:00	E	1.8	3.2	5.1	99.8	1023.8	11.6	-
9:00	E	0.7	3.0	6.6	99.7	1023.9	11.5	-

(注) 高知県鏡ダム管理事務所観測

付表3 12月12日-13日の気象観測データ

時刻	風向	風速 (m/s)		温度 (℃)	湿度 (%)	気圧 (mb)	水温 (℃)	蒸発 (cm)
		平均	最大					
10:00	SE	4.1	9.3	7.7	32.6	1021.6	11.3	-
11:00	E	4.9	9.7	8.6	22.2	1021.4	11.3	-
12:00	E	3.9	8.2	9.4	19.8	1021.1	11.4	-
13:00	E	4.4	8.0	10.6	27.1	1021.1	11.4	-
14:00	E	4.2	8.1	10.1	24.5	1021.0	11.4	-
15:00	E	2.7	8.2	9.5	18.7	1021.0	11.4	-
16:00	SE	5.2	9.9	8.8	19.9	1021.1	11.4	-
17:00	E	2.4	6.6	7.0	30.8	1021.1	11.5	-
18:00	S	0.0	3.6	4.6	44.5	1021.1	11.4	-
19:00	S	0.0	2.4	3.2	65.1	1021.2	11.4	-
20:00	E	0.9	1.8	2.2	73.0	1021.3	11.4	-
21:00	S	0.0	3.0	1.4	87.6	1021.3	11.3	-
22:00	E	1.0	2.2	1.2	90.0	1021.3	11.5	-
23:00	E	1.1	2.8	0.3	96.1	1021.4	11.4	-
0:00	E	1.7	2.6	0.0	99.8	1021.3	11.2	-
1:00	E	1.7	3.3	0.1	99.8	1021.3	11.2	-
2:00	SE	2.2	3.6	0.8	99.9	1021.4	11.3	-
3:00	E	1.2	2.5	0.6	95.4	1021.4	11.2	-
4:00	SE	0.7	3.5	0.2	-	1021.4	11.4	-
5:00	E	0.5	3.3	0.0	99.7	1021.3	11.4	-
6:00	SE	1.4	2.9	0.6	99.9	1021.4	11.4	-
7:00	E	1.9	4.0	0.7	99.8	1021.5	11.4	-
8:00	SE	0.9	2.6	1.4	99.2	1021.6	11.4	-
9:00	SE	0.8	2.8	3.6	94.0	1021.7	11.4	-

(注) 高知県鏡ダム管理事務所観測

付表4 12月15日-16日の気象観測データ

時刻	風向	風速 (m/s)		温度 (℃)	湿度 (%)	気圧 (mb)	水温 (℃)	蒸発 (cm)
		平均	最大					
10:00	SE	0.8	2.6	5.9	73.6	1025.5	10.5	-
11:00	E	0.6	1.3	8.8	51.9	1025.4	10.5	-
12:00	S	0.2	1.2	12.2	45.8	1025.1	11.1	-
13:00	E	1.0	2.9	13.2	27.3	1025.0	11.5	-
14:00	SE	2.3	4.1	14.4	27.6	1024.9	11.7	-
15:00	SE	1.1	4.2	13.4	32.0	1024.8	11.3	-
16:00	SE	1.2	3.7	11.6	29.9	1025.0	11.6	-
17:00	S	0.1	2.2	8.2	51.0	1025.1	11.1	-
18:00	E	1.2	1.8	6.6	67.8	1025.4	10.8	-
19:00	SE	1.0	2.5	5.3	76.8	1025.4	10.8	-
20:00	E	1.0	3.4	4.3	86.8	1025.4	10.7	-
21:00	SE	1.3	3.2	3.7	92.8	1025.4	10.6	-
22:00	SE	1.3	3.8	2.9	96.2	1025.4	11.4	-
23:00	SE	2.0	3.5	2.7	98.4	1025.4	10.7	-
0:00	SE	1.9	3.6	2.7	96.8	1025.4	11.1	-
1:00	E	1.9	3.3	2.0	95.2	1025.4	12.0	-
2:00	SE	1.4	2.9	1.8	97.1	1025.4	11.4	-
3:00	SE	2.0	3.3	1.7	99.5	1025.4	10.7	-
4:00	SE	2.2	3.8	1.6	97.7	1025.4	11.0	-
5:00	SE	1.4	3.4	1.7	98.0	1025.4	10.9	-
6:00	SE	0.5	2.7	1.3	99.7	1025.4	13.2	-
7:00	SE	1.4	3.2	1.3	99.8	1025.4	12.7	-
8:00	SE	0.8	2.7	2.1	99.8	1025.6	10.5	-
9:00	SE	1.1	2.6	4.2	99.7	1025.6	10.9	-

(注) 高知県鏡ダム管理事務所観測

付表5 12月21日-22日の気象観測データ

時刻	風向	風速 (m/s)		温度 (℃)	湿度 (%)	気圧 (mb)	水温 (℃)	蒸発 (cm)
		平均	最大					
10:00	E	5.5	11.1	11.1	39.9	1015.3	-	-
11:00	E	3.7	10.3	11.6	31.3	1015.4	-	-
12:00	SE	6.1	12.3	11.9	28.8	1015.3	-	-
13:00	E	5.6	14.9	12.2	27.8	1015.2	-	-
14:00	E	5.0	12.0	12.3	25.9	1015.2	-	-
15:00	E	5.1	11.1	12.8	27.8	1015.2	-	-
16:00	SE	2.6	9.3	11.6	24.4	1015.3	-	-
17:00	E	1.2	7.0	10.2	34.0	1015.7	-	-
18:00	E	0.6	2.6	6.8	61.0	1016.1	-	-
19:00	SE	1.2	2.9	5.1	82.5	1016.6	-	-
20:00	S	0.2	2.9	4.6	94.1	1017.2	-	-
21:00	S	0.1	1.9	4.0	99.6	1018.0	-	-
22:00	SE	0.3	2.4	3.4	99.7	1018.2	-	-
23:00	SE	0.6	2.8	3.3	99.7	1018.2	-	-
0:00	SE	1.2	4.3	3.0	99.8	1018.2	-	-
1:00	E	1.6	3.9	3.2	99.7	1018.2	-	-
2:00	E	0.9	3.9	2.7	99.7	1018.2	-	-
3:00	E	0.6	2.9	2.5	99.7	1018.2	-	-
4:00	E	0.4	2.6	2.2	99.8	1018.2	-	-
5:00	SE	1.8	2.7	2.2	99.7	1018.2	-	-
6:00	E	2.3	3.3	2.2	99.7	1018.2	-	-
7:00	E	1.8	3.5	2.0	99.4	1018.2	-	-
8:00	E	2.2	2.9	1.8	99.8	1018.9	-	-
9:00	SE	2.0	3.7	4.1	99.7	1018.3	-	-

(注) 高知県鏡ダム管理事務所観測

付表6 12月25日-26日の気象観測データ

時刻	風向	風速 (m/s)		温度 (℃)	湿度 (%)	気圧 (mb)	水温 (℃)	蒸発 (cm)
		平均	最大					
10:00	SE	1.7	4.4	7.3	99.7	1016.4	-	-
11:00	E	2.6	12.4	9.3	77.2	1016.2	-	-
12:00	E	3.1	11.8	9.8	64.1	1016.2	-	-
13:00	E	3.8	13.8	8.8	45.9	1016.2	-	-
14:00	E	2.6	9.5	7.6	64.2	1016.3	-	-
15:00	SE	2.4	11.5	6.5	58.1	1016.5	-	-
16:00	SE	2.1	9.9	4.3	95.9	1016.7	-	-
17:00	SE	1.6	8.2	6.0	36.1	1016.9	-	-
18:00	SE	2.4	11.5	5.3	28.5	1017.5	-	-
19:00	SE	2.9	10.6	4.8	21.7	1018.2	-	-
20:00	SE	0.8	6.5	3.5	31.4	1018.3	-	-
21:00	SE	0.4	3.4	1.5	56.8	1018.8	-	-
22:00	E	0.7	3.3	0.6	67.8	1019.6	-	-
23:00	SE	1.4	2.5	0.1	81.2	1020.3	-	-
0:00	SE	0.8	2.3	-0.4	90.3	1020.7	-	-
1:00	SE	0.4	1.2	-1.1	93.9	1021.1	-	-
2:00	S	0.1	1.4	-1.6	99.8	1021.6	-	-
3:00	SE	0.8	2.4	-1.9	99.5	1021.7	-	-
4:00	SE	0.9	2.1	-1.7	98.4	1021.8	-	-
5:00	S	0.1	2.3	-2.3	99.1	1021.8	-	-
6:00	SE	0.4	1.7	-2.0	99.8	1022.1	-	-
7:00	S	0.1	2.4	-2.4	99.5	1022.8	-	-
8:00	SE	0.9	2.0	-2.3	99.5	1023.3	-	-
9:00	SE	0.7	2.2	-0.9	99.5	1023.6	-	-

(注) 高知県鏡ダム管理事務所観測

付表7 1月5日-6日の気象観測データ

時刻	風向	風速 (m/s)		温度 (℃)	湿度 (%)	気圧 (mb)	水温 (℃)	蒸発 (cm)
		平均	最大					
10:00	E	1.1	2.0	2.6	67.6	1025.8	9.9	-
11:00	E	0.2	1.4	6.2	40.8	1025.8	10.0	-
12:00	E	0.9	2.6	7.6	31.2	1025.5	10.0	-
13:00	E	1.2	3.8	8.8	23.5	1025.2	10.0	-
14:00	E	3.0	5.6	10.4	25.4	1024.9	-	-
15:00	E	0.6	3.3	11.0	20.5	1024.7	-	-
16:00	E	1.0	6.2	10.4	11.3	1024.7	-	-
17:00	E	2.1	9.5	7.6	19.4	1024.9	-	-
18:00	S	0.0	3.2	4.4	36.8	1025.1	-	-
19:00	S	0.1	1.3	2.2	54.7	1025.6	-	-
20:00	SE	0.3	1.3	1.4	65.9	1026.1	-	-
21:00	SE	0.7	1.7	0.2	77.7	1026.7	-	-
22:00	SE	0.4	1.9	-0.8	86.0	1027.0	-	-
23:00	S	0.1	1.6	-0.9	94.1	1027.0	-	-
0:00	E	0.5	2.2	-1.2	98.9	1027.1	-	-
1:00	S	0.1	2.0	-1.4	98.1	1027.2	-	-
2:00	E	0.5	2.2	-1.5	96.8	1027.4	-	-
3:00	S	0.1	1.9	-1.6	99.3	1027.4	-	-
4:00	S	0.2	1.9	-2.0	97.3	1027.4	9.9	-
5:00	SE	0.4	2.5	-2.0	99.7	1027.4	-	-
6:00	SE	0.4	3.6	-2.0	99.7	1027.4	-	-
7:00	E	0.3	2.3	-2.1	99.7	1027.6	10.4	-
8:00	E	0.8	3.3	-1.6	99.7	1028.4	10.4	-
9:00	SE	0.3	2.7	0.2	96.1	1028.6	10.4	-

(注) 高知県鏡ダム管理事務所観測

付表8 1月16日-17日の気象観測データ

時刻	風向	風速 (m/s)		温度 (℃)	湿度 (%)	気圧 (mb)	水温 (℃)	蒸発 (cm)
		平均	最大					
10:00	SE	0.9	4.4	0.7	61.6	1022.6	-	-
11:00	SE	4.6	9.6	3.0	10.8	1022.6	-	-
12:00	E	2.1	9.3	3.8	14.3	1022.4	-	-
13:00	E	2.1	9.0	4.9	9.3	1022.1	-	-
14:00	E	3.4	11.4	5.5	8.6	1022.0	-	-
15:00	E	4.1	9.2	5.4	6.4	1021.9	-	-
16:00	E	4.4	11.0	4.5	7.7	1021.9	-	-
17:00	E	1.4	7.0	2.3	20.0	1022.0	-	-
18:00	E	1.0	2.6	-0.2	33.6	1022.1	-	-
19:00	SE	0.2	1.5	-1.5	45.4	1022.4	-	-
20:00	SE	0.6	1.5	-1.6	59.9	1022.6	-	-
21:00	S	0.1	1.0	-2.5	64.3	1023.0	-	-
22:00	SE	0.3	1.4	-2.7	67.9	1023.4	-	-
23:00	E	0.3	2.3	-3.5	74.4	1023.6	-	-
0:00	SE	0.4	1.0	-3.9	80.2	1023.9	-	-
1:00	S	0.0	2.0	-4.3	83.7	1023.9	-	-
2:00	E	1.7	3.1	-4.6	87.7	1024.2	-	-
3:00	SE	0.8	2.6	-4.6	89.6	1024.3	-	-
4:00	SE	1.2	2.1	-4.9	92.6	1024.2	-	-
5:00	SE	0.3	1.8	-5.0	93.6	1024.3	-	-
6:00	SE	0.5	2.9	-5.1	96.8	1024.9	-	-
7:00	SE	0.7	2.1	-5.2	96.6	1025.6	-	-
8:00	SE	1.3	2.6	-5.1	95.2	1025.7	-	-
9:00	SE	0.5	2.2	-3.6	91.0	1025.7	-	-

(注) 高知県鏡ダム管理事務所観測

