

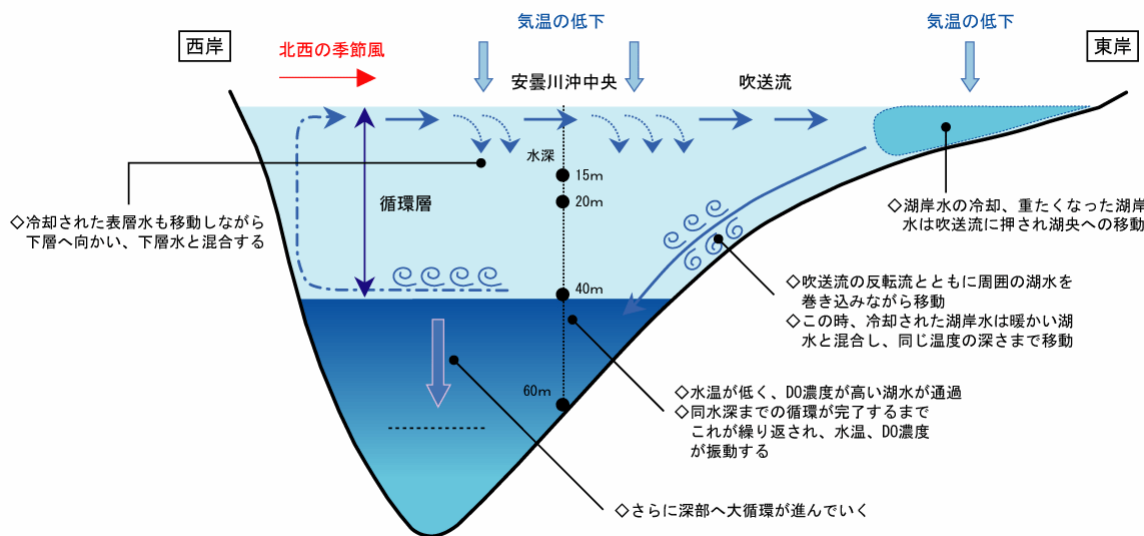
§ 3 融雪水の丹生ダム貯留による琵琶湖深層部 D0 への影響について

これまで、融雪水のダム貯留による琵琶湖深層部 D0 への影響については、『丹生ダム建設に伴う自然環境への影響について（近畿地方整備局、平成 17 年 7 月 21 日）』（以下「中間まとめ」と呼ぶ）をとりまとめており、融雪水のダム貯留による琵琶湖深層部 D0 への影響に対し「琵琶湖深層部への D0 の供給は湖水の冷却による全層循環が支配的である」という検討結果を得ている。

しかしながら、一部専門家から「河川水の潜り込みも底層 D0 の回復に寄与する可能性がある」との指摘等があった。そのため、冬季期間中（循環移行期～循環期）の姉川から流入する河川水の挙動及び琵琶湖深層部 D0 に与える影響について明らかにすることを目的として、琵琶湖・姉川河口域の流向・流速、水温、D0 等の拡散状況や挙動を調査するとともに、姉川から供給される D0 量等について試算を行った。また、中間まとめ以降における国・滋賀県・水資源機構の調査結果を追加し、検討内容の再整理についても実施した。

3.1 琵琶湖の循環メカニズム

琵琶湖深層部の D0 回復には、琵琶湖の循環メカニズムが大きく寄与しており、次のような段階を経て全層循環に至るものと考えられる（図 3.1.1 参照）。



- ①毎年 9 月末頃から湖面冷却が開始される。
- ②北西の季節風による吹送流により、冷却された東岸湖水が深層部に進入。このとき深層部では、これら表層付近の水塊が通過することによる一時的な水温上昇と D0 増加が確認される。これを経時的な変化で見ると、ある水深の水温・D0 が上層部の水温・D0 との間で振動しているように見える。
- ③②の動きが順次繰り返され、表層水の冷却に伴い徐々に循環層が深部に拡大していく。
- ④表層部水温が、深層部水温と同程度となる 1 月中旬から下旬においては、概ね全層循環に至る。
- ⑤これらの循環メカニズムにより表層付近の比較的 D0 を多く含んだ水塊が深層部水塊と混合していくことにより、D0 が回復していくものと考えられる。

図 3.1.1 琵琶湖の冷却期における循環機構のまとめ（仮説）

3.2 姉川河川水の琵琶湖への流入状況

冬季中における姉川河川水の琵琶湖への流入状況を把握する目的で平成 20 年度に現地調査を実施した。

(1) 調査の概要

姉川河口部（琵琶湖北湖内）3 箇所に設置型連続観測設備（水質等観測ブイ）を設置し、冬季中の水質及び湖流などの連続観測を実施した。また、姉川河口部周辺の琵琶湖で東西 5 測線、南北 8 測線における流向・流速、水温、濁度等の面的な挙動を把握する調査を平成 21 年 2 月 15～18 日に実施した（図 3.2.1 参照）。



図 3.2.1 姉川河口部における調査地点

(2) 水温、D0 の侵入拡散状況

姉川からの河川水が琵琶湖に流入する地点（St. 1：水深約 20m）を始めとして、琵琶湖の沿岸水域の計 3 地点に水温、D0、濁度、流向流速等を連続計測する設置型連続観測設備を設置した。図 3.2.2 に姉川河口部 St. 1、姉川（野寺橋）の水温及び D0 の連続観測結果を示す。

- ① 姉川（野寺橋）の水温は、2 月下旬まで琵琶湖よりも低い水温で推移している。姉川の水温が低下している時期でも河口から約 200m の St. 1 では表層と底層の水温差はほとんどなく、底層水温でも姉川の河川水よりも 4～5℃高い。このことから、河川水は琵琶湖に流入すると速やかに拡散してしまうものと推察される。
- ② 姉川（野寺橋）の D0 は、11 月～1 月上旬まで琵琶湖の D0 よりも高い。St. 1 の底層の D0 は、水温が表層よりも低いにもかかわらず高い値になっていない。このことから、D0 の高い河川水が底層部に潜り込んでいるという現象は発生していないものと推察される。
- ③ なお、11/25、12/3、12/15 及び翌年 1/5 に見られる底層水温及び D0 の低下については、循環期にみられる水温躍層以深の水塊が上昇・下降を繰り返す振動現象によるものと推察される。

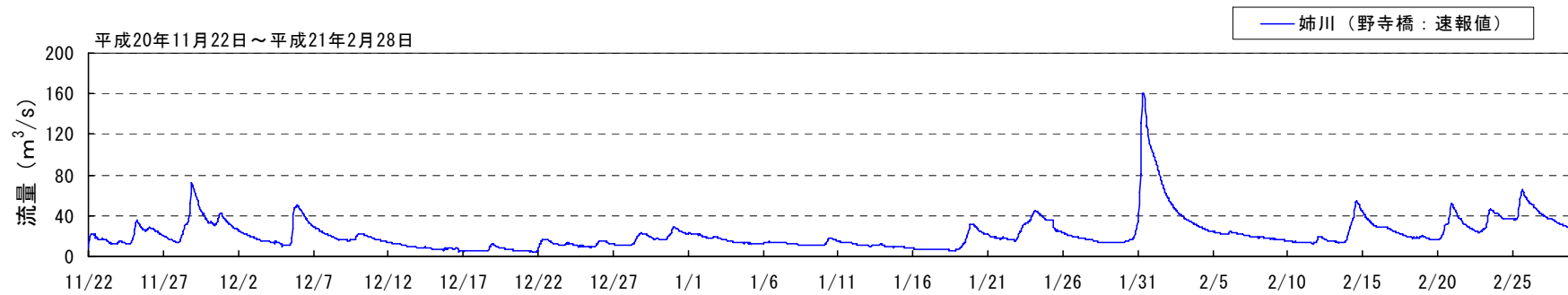
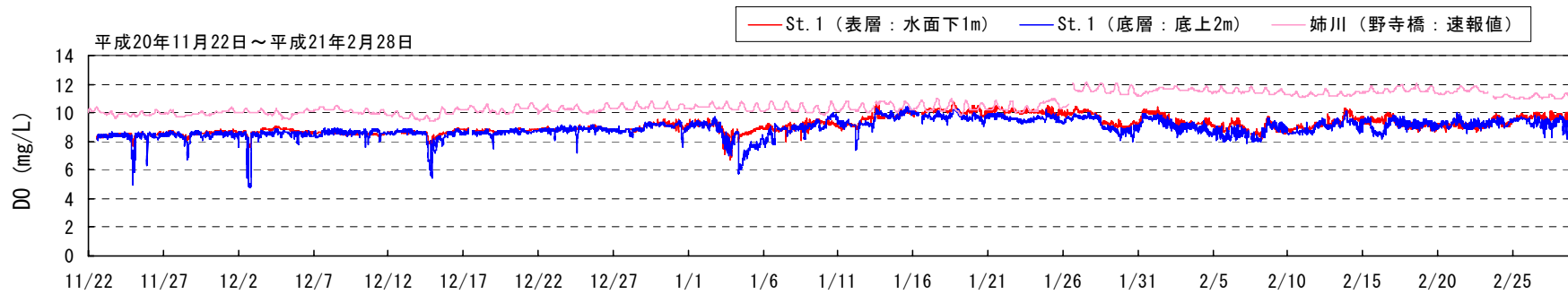
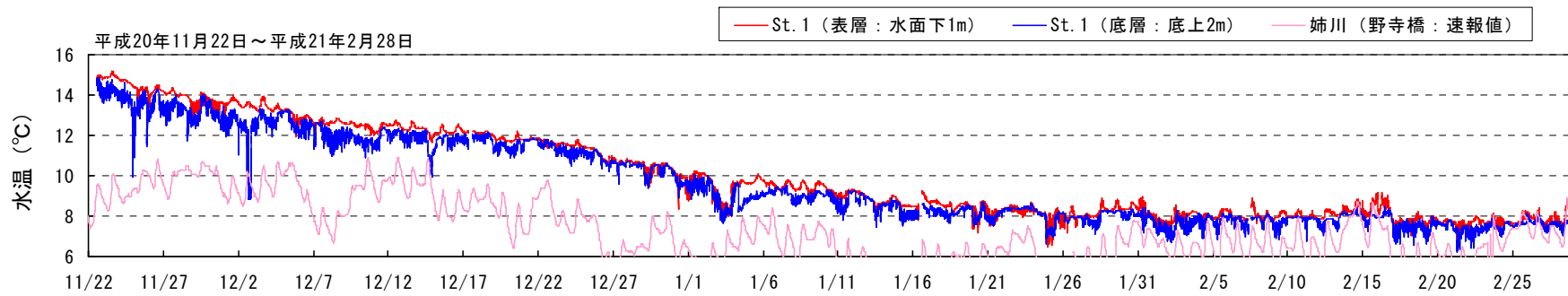


図 3.2.2 姉川河口部 (St. 1) の設置型連続観測結果 (水温、DO)

(3) 姉川河口観測

平成21年2月15日および17日の東西測線の観測結果及び平面分布結果を図 3.2.3～図 3.2.6 に示す。

2月15日は河川水温が高かったこともあり、姉川の流入水が密度流を形成して湖底に沿って流入するという状況はみられない(東西測線3)。一方、2月17日は河川水温が低下したことにより、流入水が密度流を形成して湖底に沿って流入する状況が見られるものの、琵琶湖流入後は速やかに拡散し姉川の河口から1.5km付近の底層では同様な水温となっている。また、底層DO濃度が上昇している状況もみられない(東西測線3)。

姉川河口付近の底層部の流れは、2月15日は表層と逆向きの北東の流れが、16日、17日については表層と同じ南東方向の流れが卓越していた。底層部については、期間を通して琵琶湖湖心方向(南西方向)の流れは見られない結果となった。

平成21年2月15日

平成21年2月17日

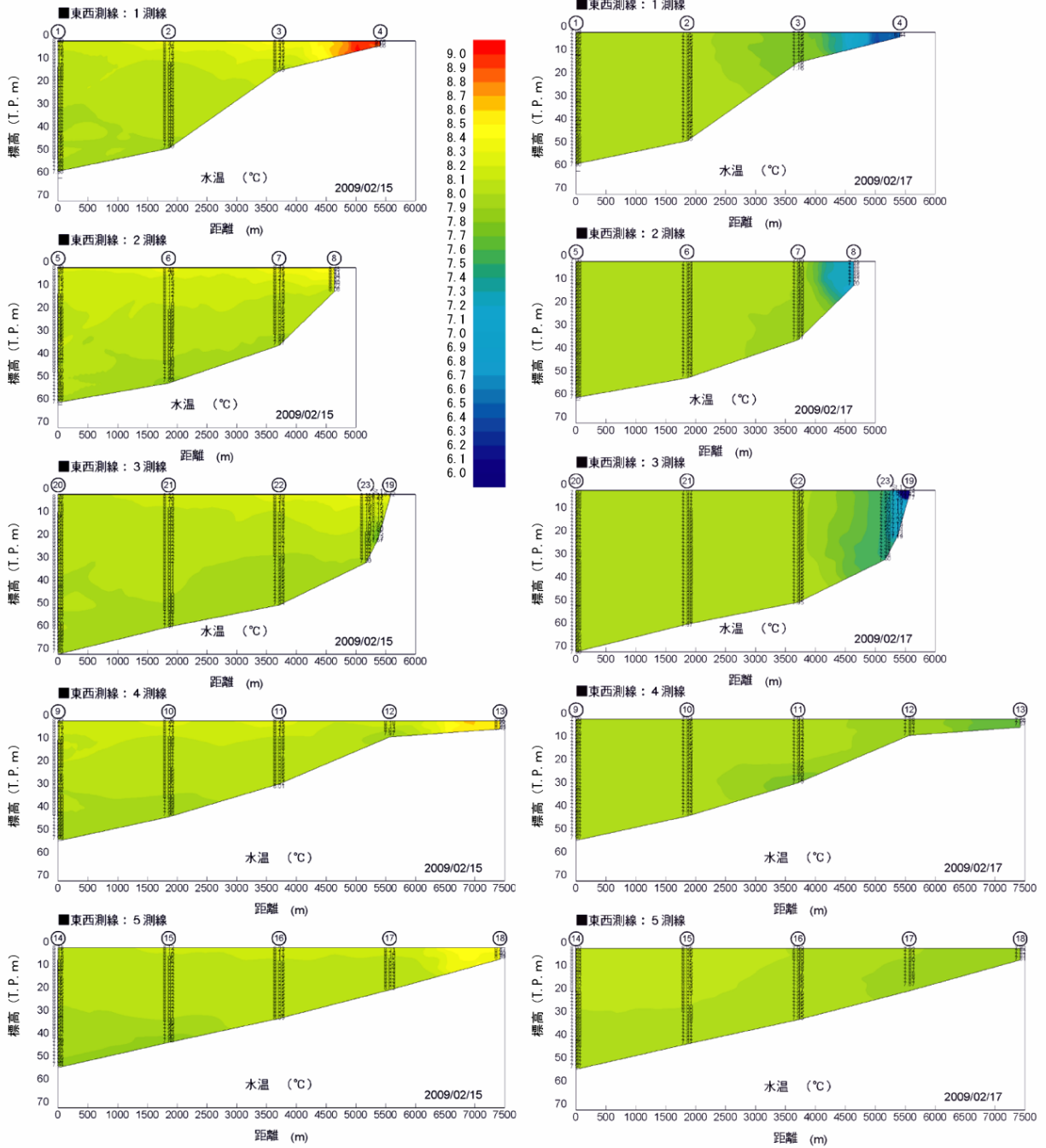


図 3.2.3 水温調査結果 (東西5測線 : 平成21年2月15日, 2月17日)

平成21年2月15日

平成21年2月17日

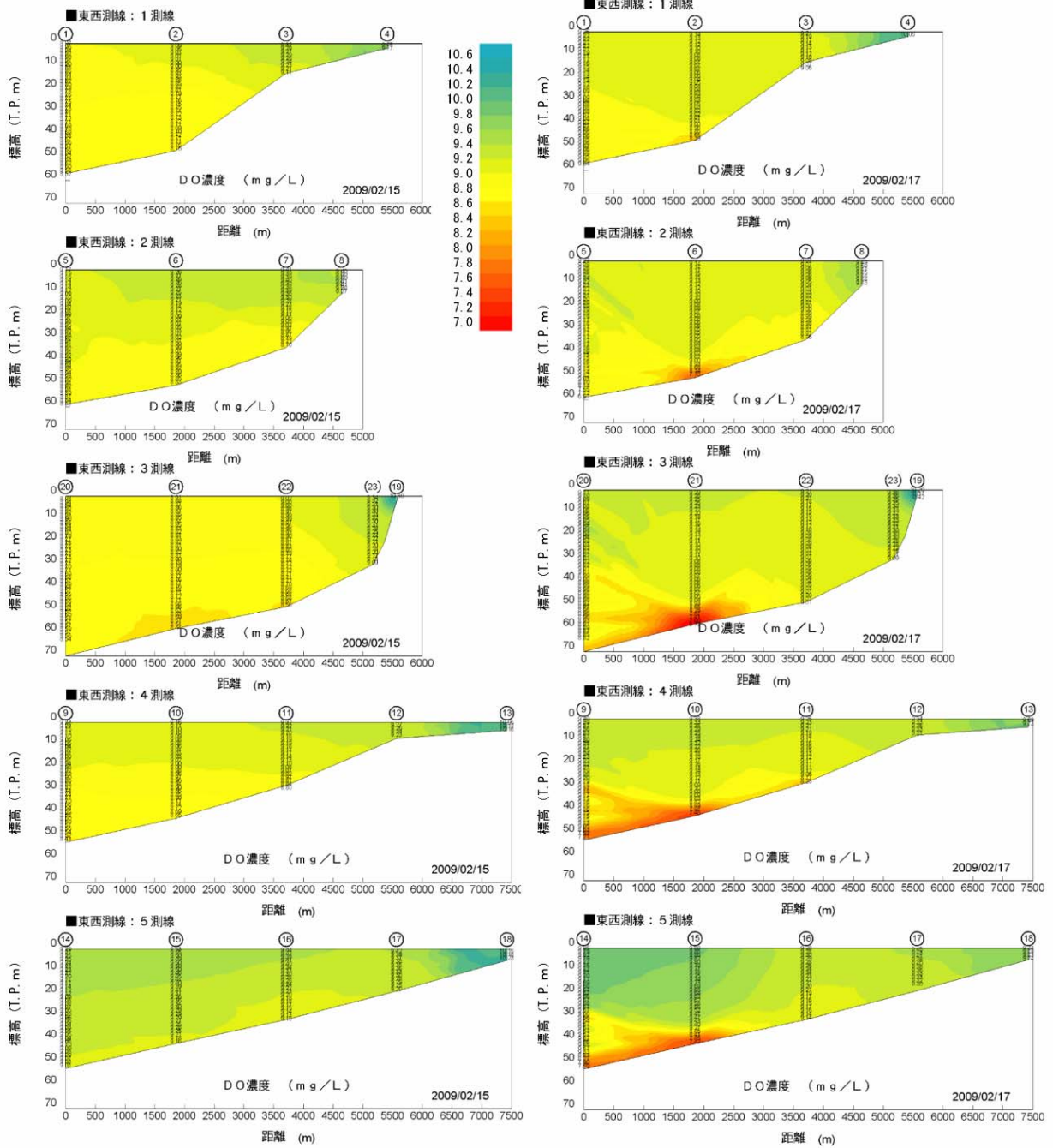
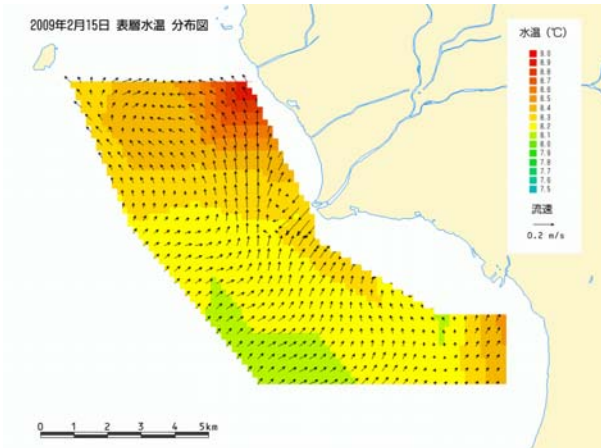
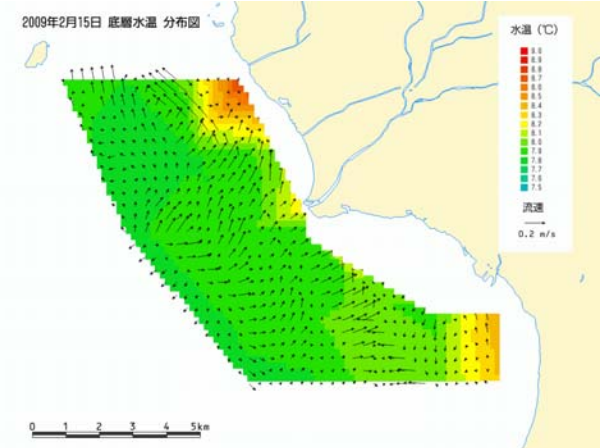


図 3.2.4 DO 調査結果 (東西 5 測線 : 平成 21 年 2 月 15 日, 2 月 17 日)

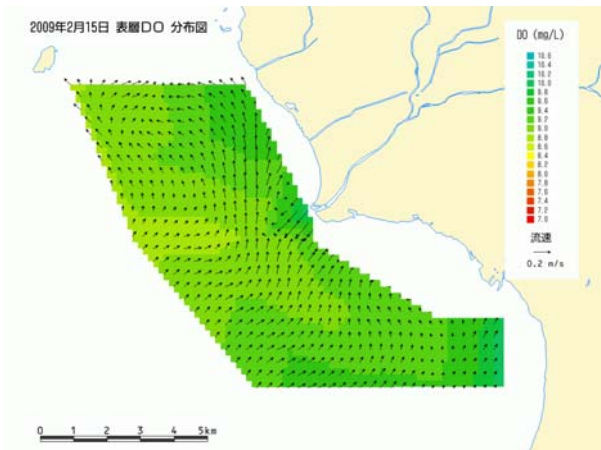
(表層水温)



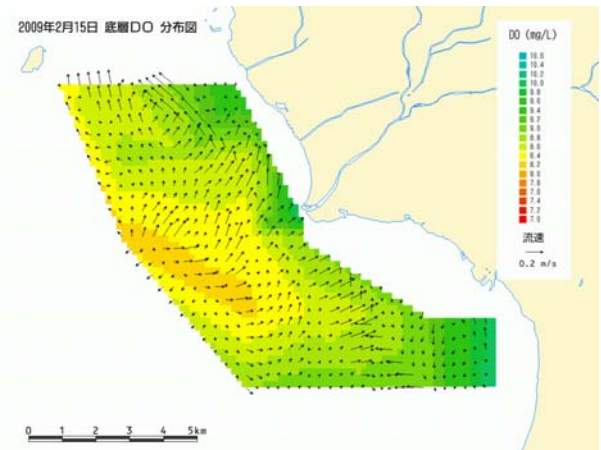
(底層水温)



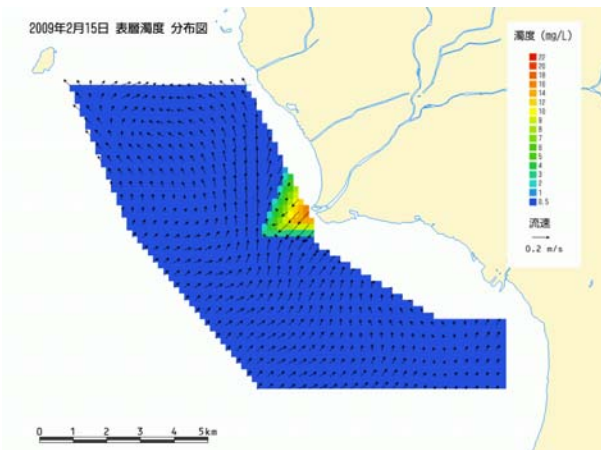
(表層D0)



(底層D0)



(表層濁度)



(底層濁度)

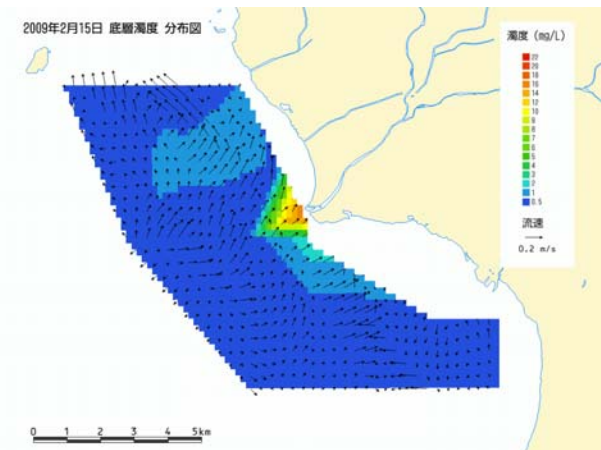
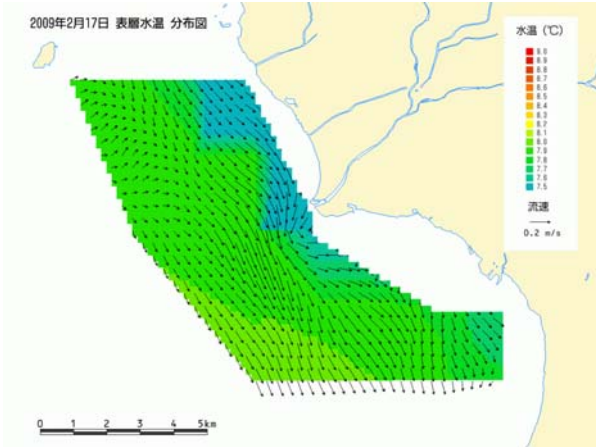
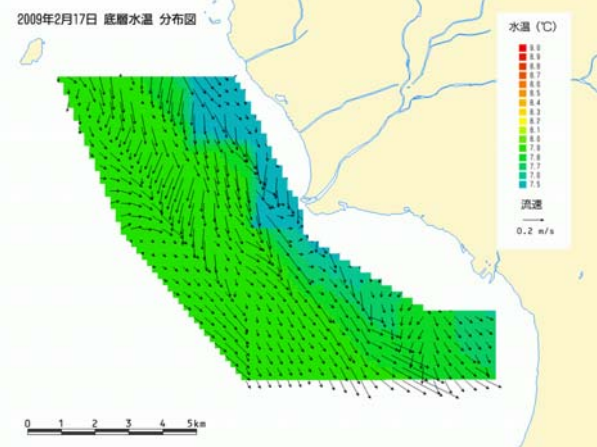


図 3.2.5 水温・D0・濁度調査結果 (平面分布：平成 21 年 2 月 15 日)

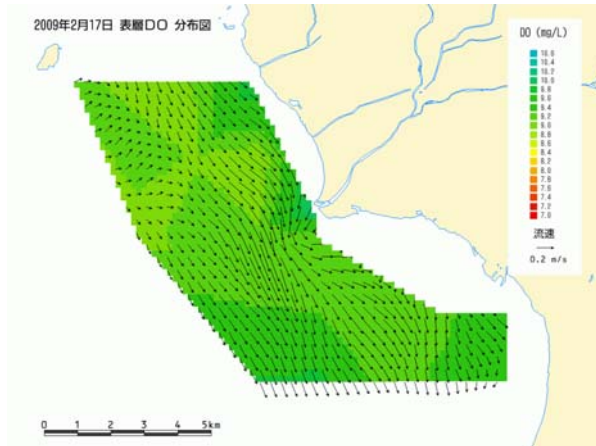
(表層水温)



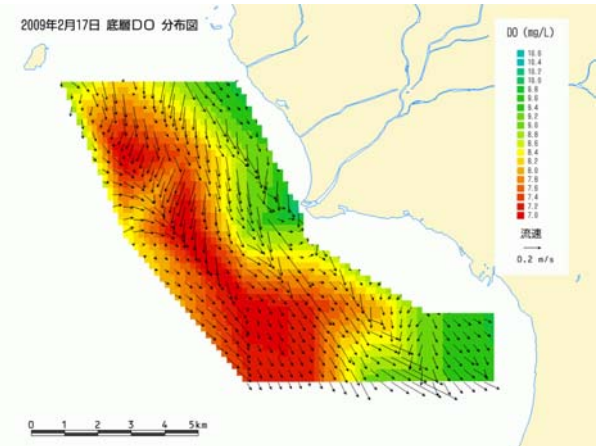
(底層水温)



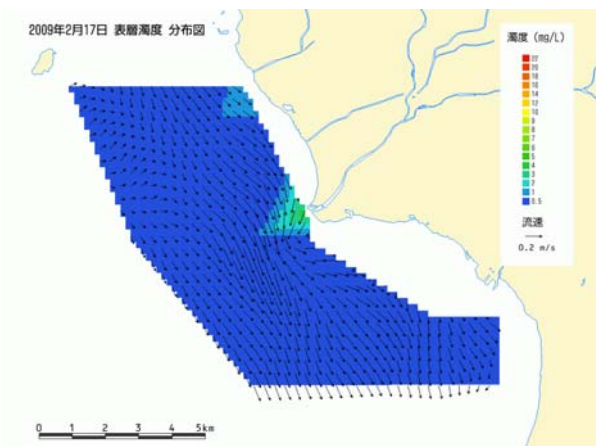
(表層DO)



(底層DO)



(表層濁度)



(底層濁度)

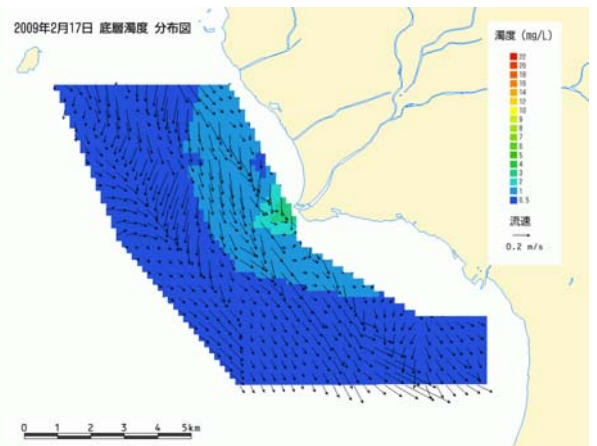


図 3.2.6 水温・DO・濁度調査結果 (平面分布:平成21年2月17日)

3.3 循環により琵琶湖深層部に供給されたD0量

(1) 現存熱量・D0量及び流入熱量・D0量の算定

琵琶湖北湖の現存熱量・D0量及び流入熱量・D0量について表3.3.1に示すように実績調査結果をベースに算定した。算定期間は平成14年度～平成18年度の5ヶ年間とした。

表 3.3.1 D0量と熱量の算定方法

北湖内の現存量	北湖内の現存量は、北湖を図3.3.1のようにメッシュ分割（水平方向1km×1km、鉛直方向1m）し、近傍の観測結果から日々の熱量・D0量をメッシュ毎に算出して、これを合計することで算出した。
流入熱量・D0量	図3.3.2に示した各流域から琵琶湖北湖へ流入する日々の流入熱量は、河川の水溫定期調査結果と近傍の気温観測値との相関式を用いて算出した。また、D0量は流入水溫に応じた溶存酸素の飽和濃度で琵琶湖北湖に流入するものとして算出した。

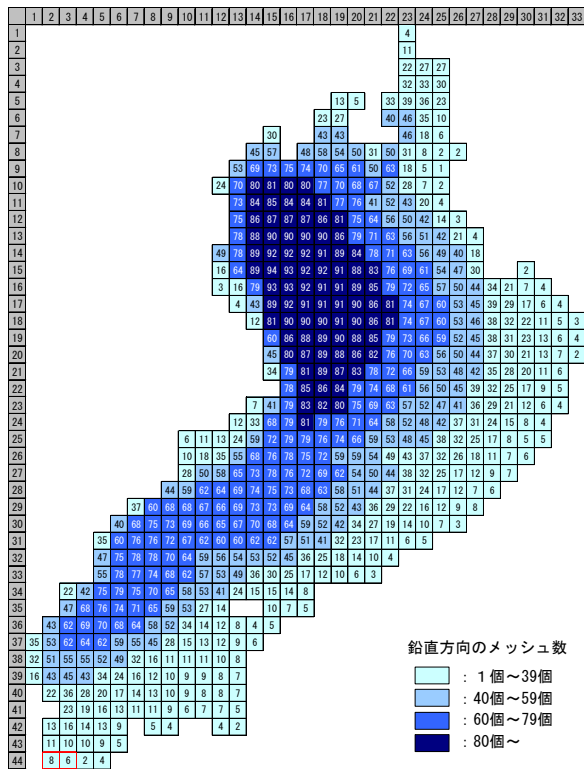


図 3.3.1 北湖メッシュ分割図

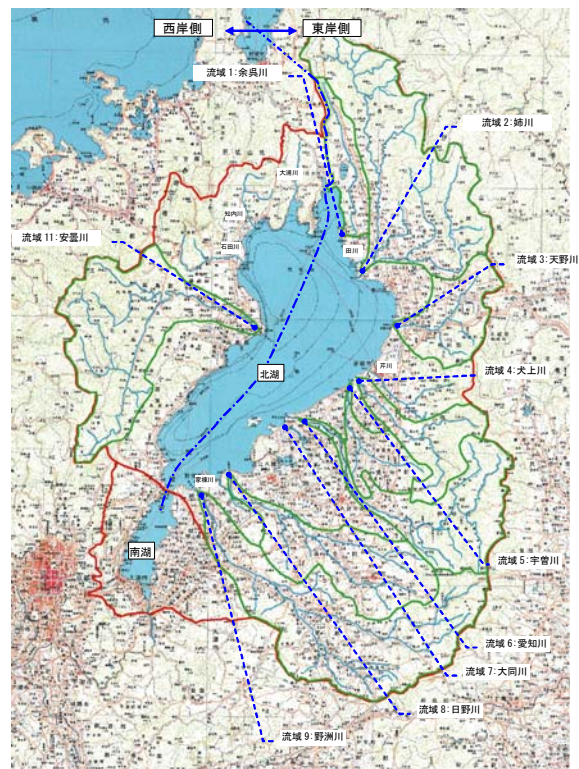


図 3.3.2 流域分割図

(2) 冬季の湖内熱量、D0量の時系列変化

平成17年度の算定結果を図3.3.3に示す。この年は、対象5ヶ年の中で最も積雪量が多く冷え込みも厳しかった年である。姉川から供給される各月のD0量は、12月～翌年2月にかけてやや多くなっているものの、最大でも2月の900t程度である。これはこの期間中の河川からの流入量が総じて少ないことが影響しているものと考えられる。

一方、琵琶湖北湖のD0変化量は月ごとの変動が大きく、気温が急激に低下した月ほど大きくなっており、1月には40,000tに達している。

対象5ヶ年間の10月～翌年2月までの琵琶湖北湖D0増加量に対する姉川から供給されるD0供給量の割合は、約2～3%という試算結果となった。また、流入河川全体では12～29%という結果となった。

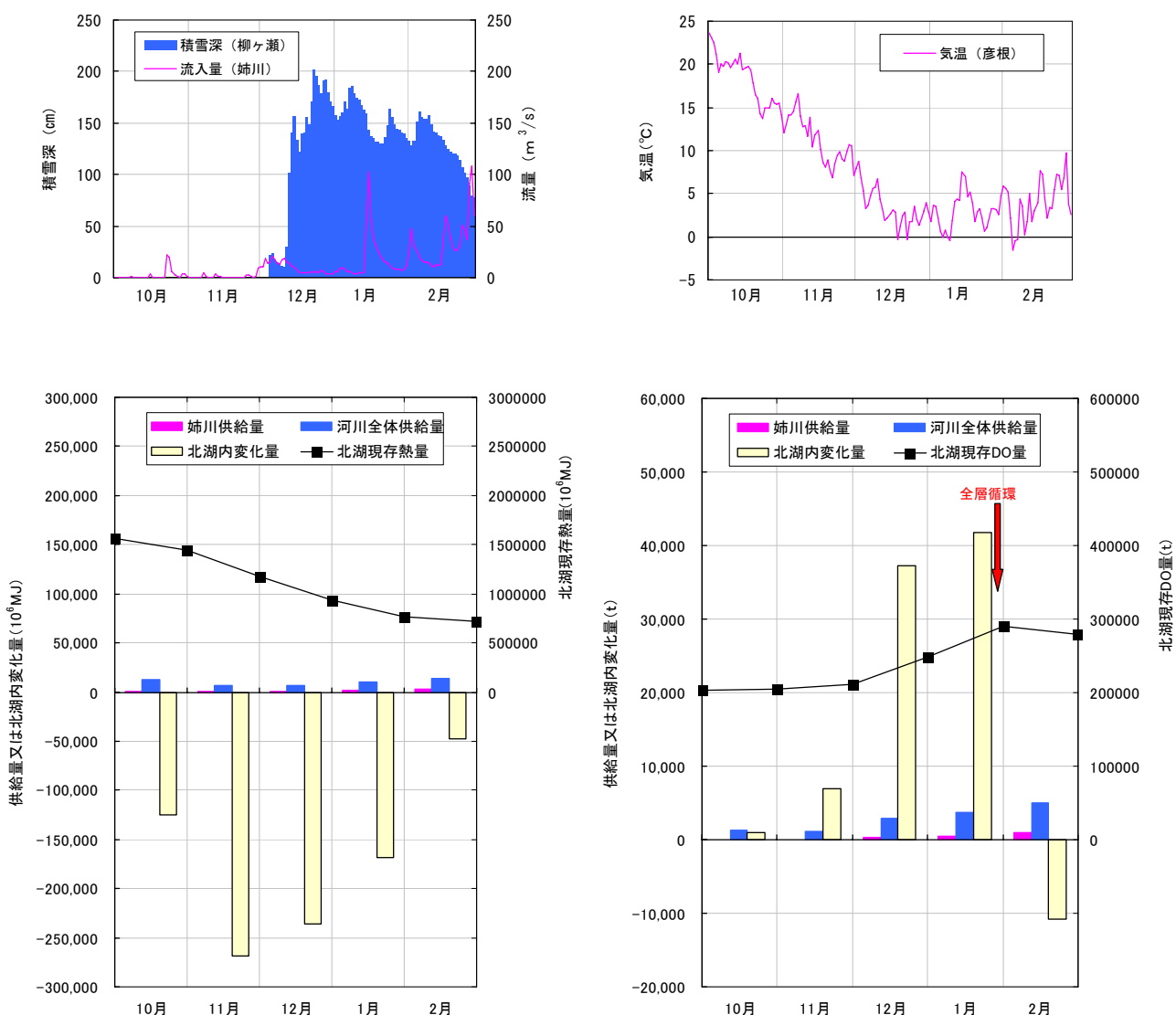


図 3.3.3 現存熱量・D0量及び流入熱量・D0量の変化 (平成17年10月～平成18年2月)

(3) 冬季の気温、流入量と湖内熱量、D0量の変化の相関関係

冬季（10～2月）の積算気温及び流入量と琵琶湖北湖内の熱量・D0量の変化について、相関関係を図 3.3.4 及び図 3.3.5 に示す。

冬季の積算気温（彦根）が低いほど北湖内の現存熱量が低下し、D0量が増加していることが分かる（図 3.3.4 参照）。一方、冬季の積算流量（琵琶湖逆算流入量による）と北湖内の現存熱量及びD0量の間には顕著な相関関係は見られなかった（図 3.3.5 参照）。

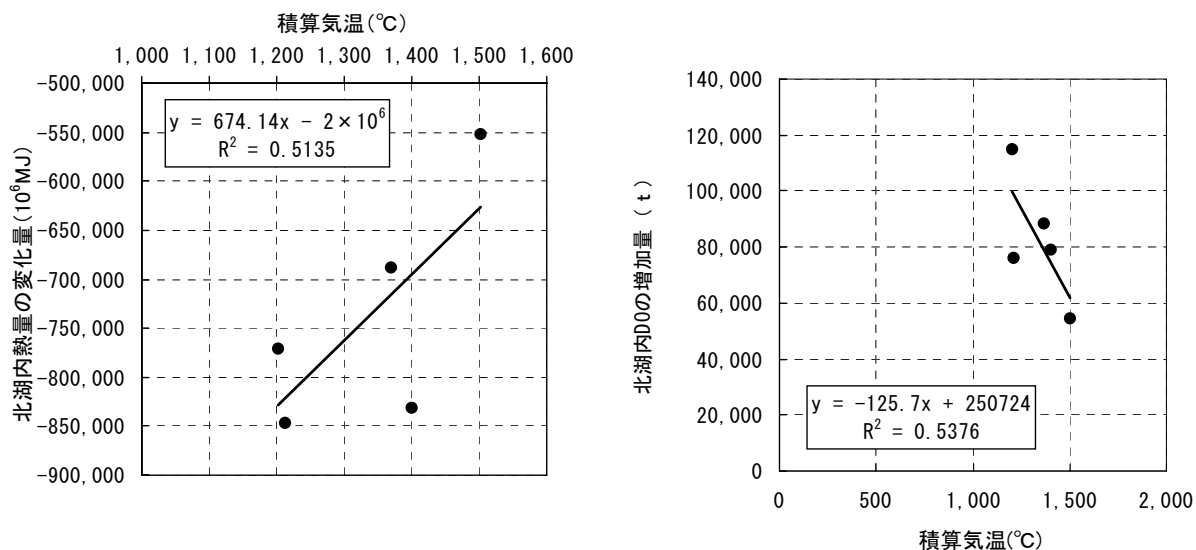


図 3.3.4 冬季（10～2月）の積算気温と北湖内の現存熱量及びD0量の変化の関係

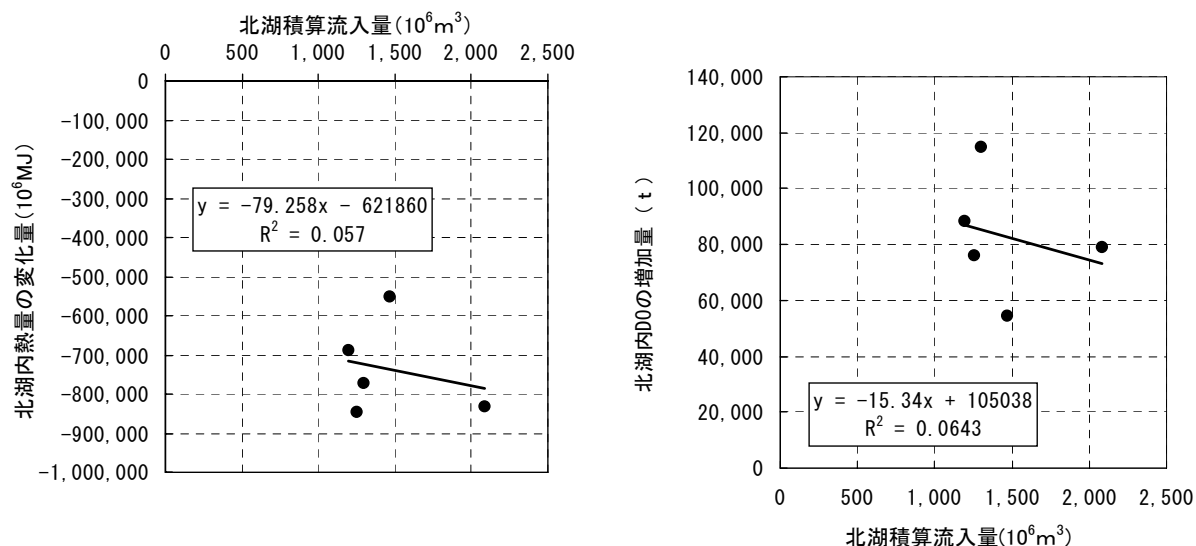


図 3.3.5 冬季（10～2月）の積算流入量と北湖内の現存熱量及びD0量の変化の関係

3.4 中間まとめの時点修正

中間まとめ以降における国・滋賀県・水資源機構の調査結果を追加し、検討内容の時点修正を実施した。結果を以下に示す。

(1) 琵琶湖深層部 D0 回復と姉川融雪水との関係

琵琶湖深層部の D0 回復と姉川融雪水との関係を整理すると以下のとおりとなる。

- ①琵琶湖水質・姉川流量観測データより、深層部の D0 回復は、姉川からの融雪水の主たる流入時期よりも前にあたる 2 月までに生起しており、D0 回復の主たるメカニズムは、必ずしも姉川からの融雪水の流入に支配されるものではない（表 3.4.1 参照）。

表 3.4.1 琵琶湖深層部 D0 の回復時期と融雪出水の発生時期

年	項目	琵琶湖深層部D0が回復した時期 (琵琶湖・今津沖中央D0)						融雪出水の発生時期 (姉川・野寺橋流量)					
		1月		2月		3月		1月		2月		3月	
		前半	後半	前半	後半	前半	後半	前半	後半	前半	後半	前半	後半
S60	1985			●									●
S61	1986			●									●
S62	1987				●								●
S63	1988				●								●
H01	1989			●						●			
H02	1990			●						●			
H03	1991			●									●
H04	1992				●								●
H05	1993			●						欠測			
H06	1994			●						融雪出水なし			
H07	1995			●									●
H08	1996		●										●
H09	1997			●									●
H10	1998				●					融雪出水なし			
H11	1999				●								●
H12	2000			●									●
H13	2001	●											●
H14	2002			●				●					
H15	2003			●						融雪出水なし			
H16	2004				●						●		
H17	2005				●						●		
H18	2006		●								●		
H19	2007						●			融雪出水なし			
H20	2008		●										●
H21	2009			●						●			

注) 琵琶湖深層 D0 が回復した時期は、今津沖中央の D0 観測データの水深方向の変化（水深方向に概ね一様になったかどうか）から判断。また、姉川（野寺橋地点）の流量が概ね 50m³/s を越えるものを融雪出水と定義

(2) 気温及び琵琶湖水温・D0の長期的動向

① 気温

琵琶湖深層部のD0回復については、循環期の冬期にどれだけ気温が低下し、大循環が深層部まで及ぶかが重要となる。彦根地方気象台における、明治35年～平成21年（108年間）の気温の長期的動向を図3.4.1に示す。

- ・年平均気温及び日最低平均気温が、この約100年間で約2℃上昇しており、近年の温暖化傾向は彦根でもうかがえる結果となっている。
- ・年最低気温について過去約100年間でふりかえると、前半の50年間と後半の50年間で傾向が異なる。前半50年間は年最低気温が-8℃を下回る年が度々あり、冬季はかなり寒かったと伺える。
- ・一方、後半50年間（昭和27年以降）では、最低気温が-8℃以下の年は1回のみであり、最近では年最低気温も-4～-2℃と高くなっている。
- ・以上のことから、気温の長期的動向からは、50年以前においては現在よりも冬は寒く、琵琶湖の水温も相当低下し、大循環も深層部まで及んでいたと推察される。

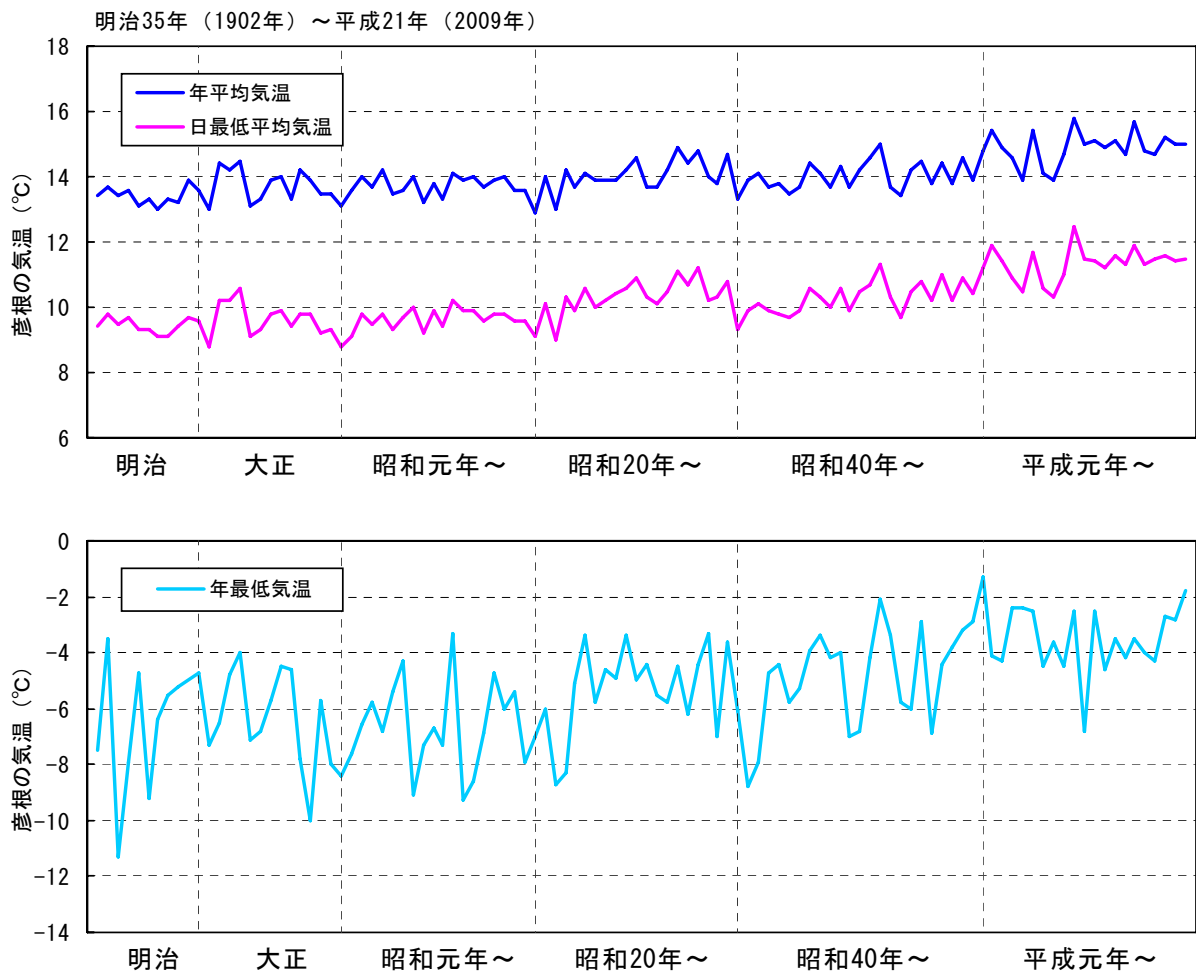


図 3.4.1 彦根の気温の長期的動向

② 琵琶湖水温

a) 水深別の年平均水温

水深別の水温の定期観測を実施している安曇川沖中央と今津沖中央の水温の長期的動向を図 3.4.2 及び図 3.4.3 に示す。

- ・安曇川沖中央地点水温の月別別変化では、昭和 59 年（1984 年）～平成 2 年（1990 年）の間、水深 35m 以深で上昇傾向が確認されたが、最近はそのような傾向はみられない。
- ・今津沖中央地点水温の月別変化では、昭和 59 年（1984 年）～平成 2 年（1990 年）の間、水深 30m 以深で上昇傾向が確認されたが、最近はそのような傾向はみられない。

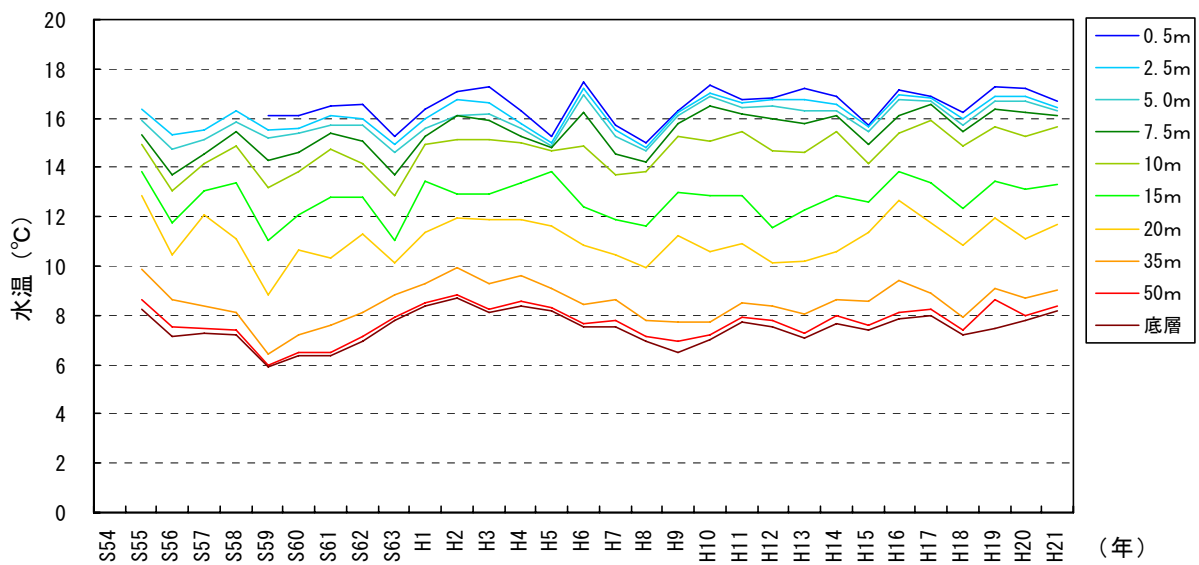


図 3.4.2 安曇川沖中央における水深別の年平均水温の長期的動向

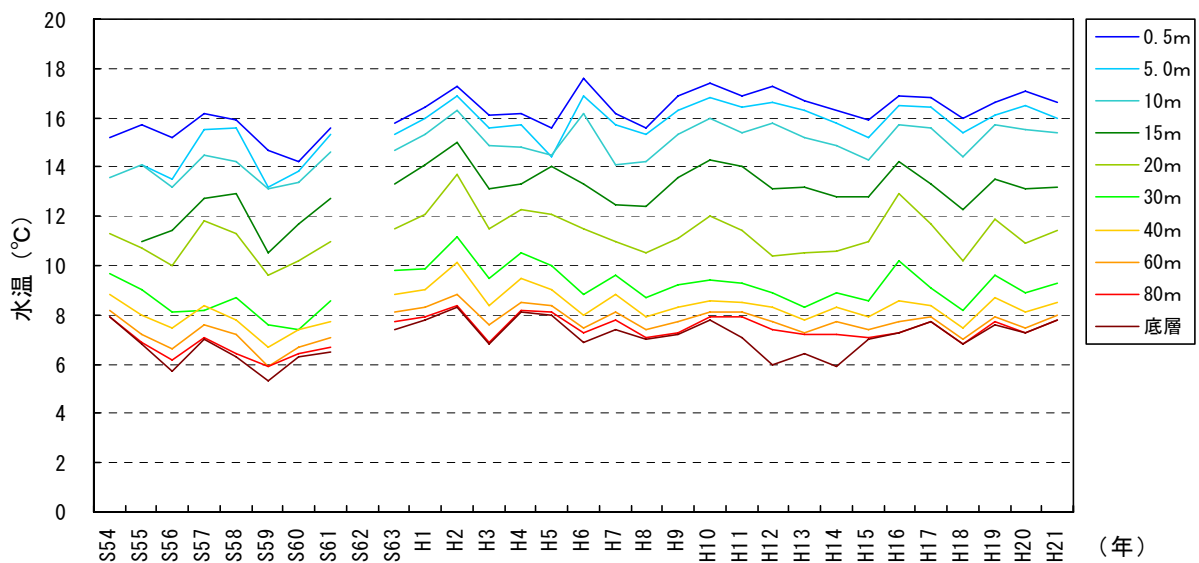


図 3.4.3 今津沖中央における水深別の年平均水温の長期的動向

b) 水深別の変化傾向

昭和 54 年（1979 年）～平成 21 年（2009 年）の各水深における長期水温変化をもとに、直線近似によって水深ごとの水温変化の傾きを算定した。その結果を図 3.4.4 に示す。

- ・概ね水深 15m までは、年平均水温の傾きがそれ以深に比べ大きくなっており、経年的な水温の上昇の程度が大きくなっている。これは、気温の長期的な上昇傾向の影響を受けた結果と考えられる。
- ・一方、水深 20m 以深では、経年的には水温の上昇を示しているものの、水深 15m までと比較して、その程度は小さい。

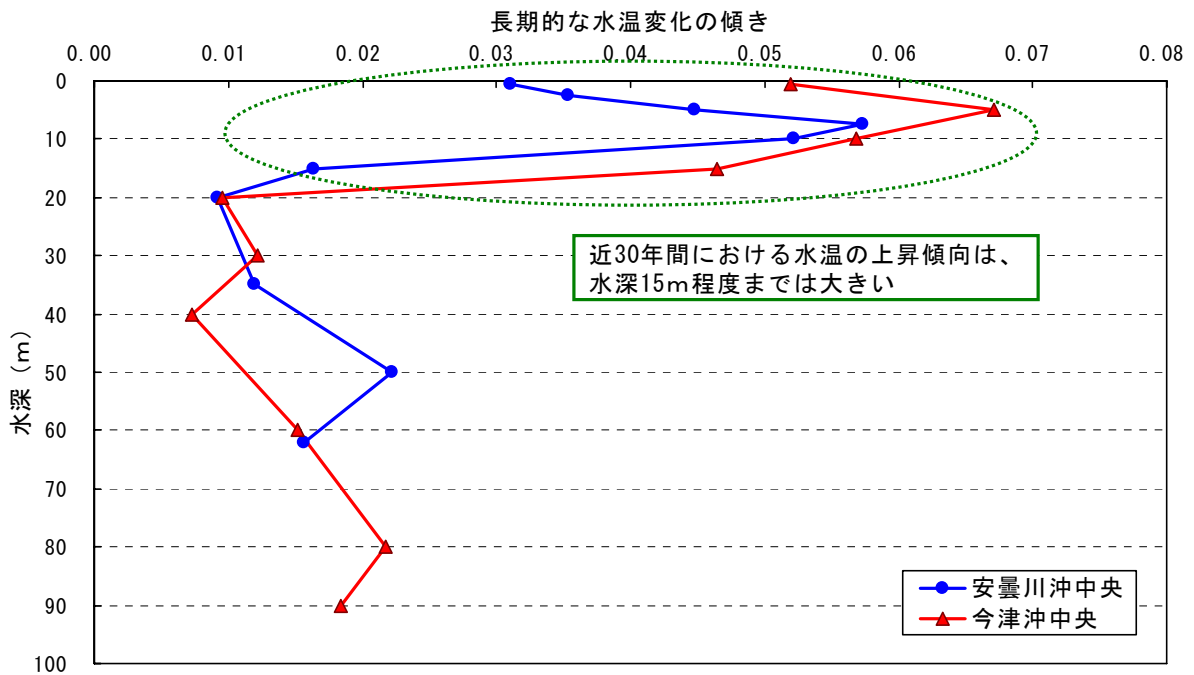


図 3.4.4 安曇川沖中央、今津沖中央における水深別水温変化の傾き

③ 北湖深層部 D0

安曇川沖中央及び今津沖中央の底層 D0 の長期的動向を図 3.4.5～図 3.4.7 に示す。

- ・安曇川沖中央地点の底層 D0 をみると、平成の年最低 D0 濃度は昭和の頃に比べてやや低くなっている。
- ・一方、今津沖中央地点の底層 D0 をみると、年最低 D0 濃度が経年的に減少する傾向は見られないものの、平成 20 年（2008 年）11 月に過去最低を記録している。

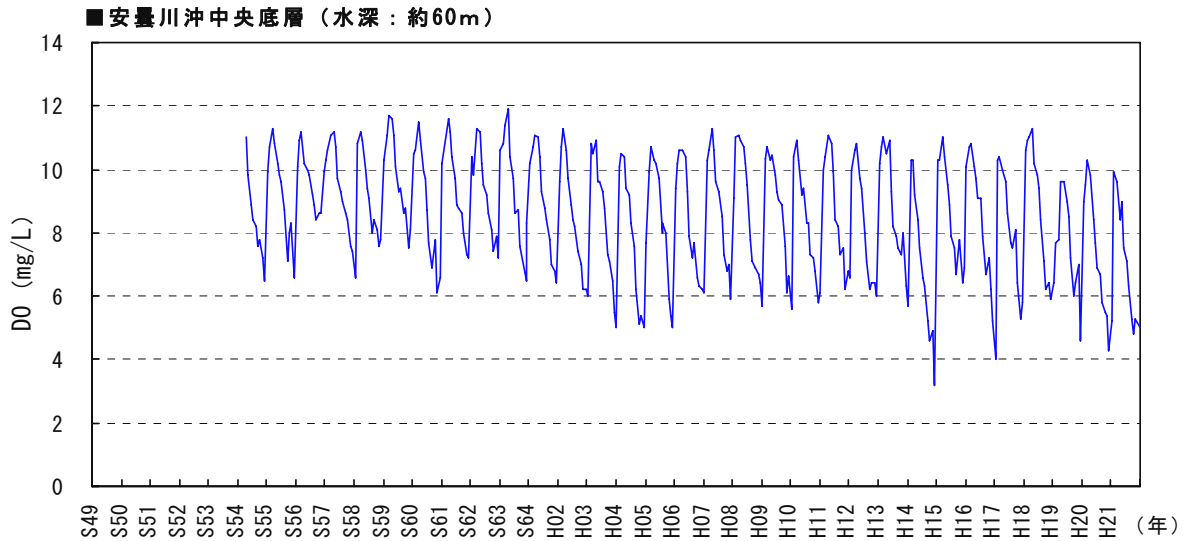


図 3.4.5 安曇川沖中央の底層の D0 の長期的動向

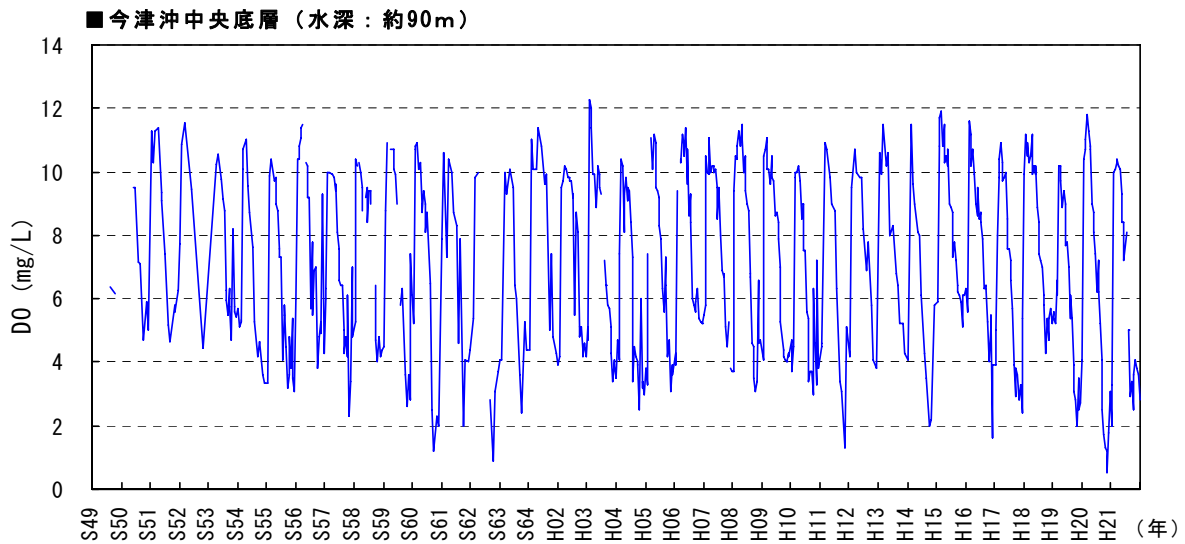


図 3.4.6 今津沖中央の底層の D0 の長期的動向

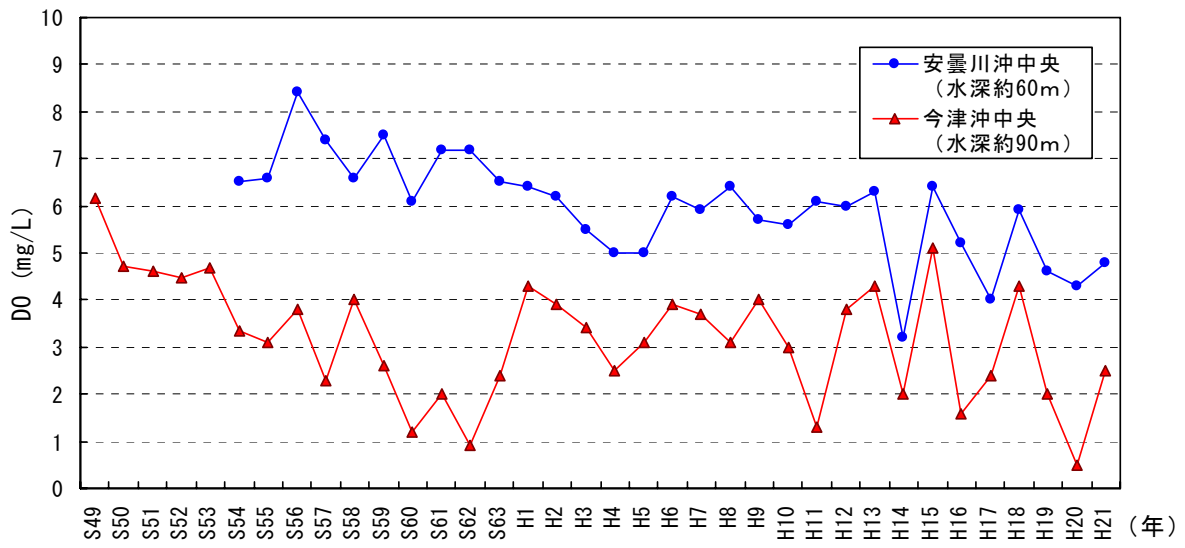


図 3.4.7 北湖深層部の DO 年最小値の長期的動向

3.5 まとめ

調査結果をまとめると以下のことがいえる。

- ①冬季中における姉川河川水の琵琶湖への流入状況の調査結果（平成 22 年 2 月 15 日及び 17 日の観測結果）より、調査期間中に河川水が湖底に沿って深層部に侵入するような流れは見られず、湖岸付近で速やかに拡散していた。
- ②琵琶湖北湖の現存熱量・D0 量、流入熱量・D0 量の推定結果より、10 月～翌 2 月における琵琶湖の循環による D0 供給量に対して、姉川からの流入 D0 量は約 2～3%、琵琶湖流入水量から推定される全流入 D0 量は約 12～29%であり、深層部の D0 供給量に対しては、湖水の全層循環が支配的な役割を果たしている。
- ③北湖深層部の水温変化を見ると昭和 59～平成 2 年にかけて一時的に上昇傾向が確認されたが、近年はそうした傾向はみられない。北湖深層部の D0 濃度は、平成 20 年には過去最低値を記録するなど、全体としては低下傾向にある。

以上の結果から、次のことが示唆される。

- ①琵琶湖深層部への D0 供給は、湖水の冷却による全層循環によるものが支配的であり、主として 3 月以降に発生する姉川からの融雪水の流入は、その生起時期及び河川水の挙動からみて深層部への D0 供給の主たる要因ではない。
- ②循環期間中に琵琶湖全体に流入する河川水が全て深層部へ D0 供給したとしても、その寄与率は僅かである。
- ③河川水の溶存酸素量に寄与する水温変化について、ダム放流水による影響は保全対策の実施によって軽減され、何れのダム型式においても姉川下流（野寺橋）では 1℃程度となる。