

長良川におけるアユの遡上と水温の関係について

About the Relations between Upstream Migration of Sweetfish and Water Temperature at Nagara River

鈴木靖⁽¹⁾・本間基寛・佐藤嘉展⁽²⁾・道広有理⁽¹⁾・竹門康弘

Yasushi SUZUKI⁽¹⁾, Motohiro HONMA, Yoshinobu SATO⁽²⁾, Yuri MICHIIRO⁽¹⁾
and Yasuhiro TAKEMON

(1) 一般財団法人日本気象協会

(2) 愛媛大学

(1) Japan Weather Association, Japan

(2) Ehime University, Japan

Synopsis

The objective of this study is to show detailed analyzed results about the relations between upstream migration of sweetfish and water temperature at Nagara river, which were used in the study of Suzuki et al. (2014). Daily number of upstream migration data of sweetfish at Nagara river barrage, water temperature data at Ise-Oohashi bridge from water information system, and sea surface temperature (SST) at Ise Bay by Mie Prefecture Fisheries Research Institute were used.

SST has good correlation with the total number 1% excess date. As SST becomes higher, the date becomes late. River water temperature has good correlation with the first group 5% excess date. As the river water temperature becomes higher, the date becomes early, which is the reverse tendency to SST. Water temperature difference (sea-river) has the good correlation with the first group 5% excess date. As the water temperature difference becomes higher, the upstream migration date becomes early. By these analyses, it is concluded that the first group 5% excess date is an effective index for the upstream migration start timing, and that water temperature difference (sea-river) is an effective water temperature index for the migration.

キーワード: アユ, 遡上, 海面水温, 河川水温, 河川海洋結合モデル

Keywords: sweetfish, upstream migration, sea surface temperature, river water temperature, coupled river-ocean model

1. はじめに

アユ (学名: *Plecoglossus altivelis altivelis*) は河川域と沿岸域を生息域とし, 冬季は沿岸域を回遊しながら成長し, 春先に河川へと遡上していく. アユの遡上生態に関して, 遡上時期, 水温, アユの大きさ

などの報告がある (田子, 2002). しかし, 河川と海洋の相互の影響との関連から調査した報告は少ない. また, 田子 (2004) は富山湾沿岸の河川に遡上したアユ稚魚の体長と水温の関係を調べ, 両者の間には有意な負の相関関係があり, 水温の上昇はアユ稚魚の体長の小型化をもたらすことを指摘した.

文部科学省ら（2013）によれば、21世紀末の日本の気温は中間的な排出量のA1Bシナリオで約3.2℃の上昇が予測され、世界平均よりも上昇量が大きい。また日本の海面水温は、A1Bシナリオの場合で100年間あたり2.0～3.1℃上昇し、南方海域よりも日本海の上昇量が大きいと予測されている。水温の上昇は様々な水産資源への影響をもたらす可能性があり、アユの体長や遡上時期の変化などへの影響が考えられる。

長良川は伊勢湾に流入する河川である。河川流入量と内湾の容積の比を調べると、伊勢湾の容積は河川流入量の約2年分、東京湾は約7年分、大阪湾は約5年分であり、伊勢湾への河川流入の影響は大きい。河川と海洋の統合的な水文環境管理に資するために、鈴木ら（2012）は河川海洋結合モデルを開発し、大雨出水時の木曾三川からの浮遊土砂拡散計算結果が衛星観測による伊勢湾内の濁水の拡がりをよく再現していることを示した。さらに鈴木ら（2013）は、伊勢湾水温の将来変化予測と大気・海洋・河川の各気候変化外力に対する感度分析を行った。その結果、A1Bシナリオに基づく将来予測では伊勢湾全体の水温は2℃以上上昇し、特に沿岸部での上昇量が高いこと、気候変化外力の河川の影響は河川流量と相関関係が高いことを明らかにした。また、鈴木ら（2014）は、木曾三川と伊勢湾の水温の将来変化が河川と沿岸部を生息域とするアユの遡上時期に及ぼす影響について、河川海洋結合モデルを用いて検討した。その結果、アユ遡上開始時期と水温差（海域－河川）の間には明瞭な相関関係があること、水温差とアユの遡上開始時期との関連性が将来も変わらず、現在の遡上時期の水温差が将来もそのまま指標となることを仮定すると、21世紀末のアユの遡上開始時期は約1か月早まる可能性があることを明らかにした。

本論文では、鈴木ら（2014）の検討の基礎データとなった長良川におけるアユの遡上時期、遡上数と河川水温、海域水温との関係について、詳細に解析することを目的とする。

2. 解析データ

2.1 アユ遡上数

独立行政法人水資源機構長良川河口堰管理所では、魚道を通じたアユの遡上数を平成7年から計測している。平成11年までは3か所の魚道において目視による観測が行われていた。平成12年以降は左岸呼び水式魚道においてビデオによる連続録画を行い、この録画記録を基に稚アユの遡上個体数を計測する方法で調査を実施している。ここでは、計測方法が統

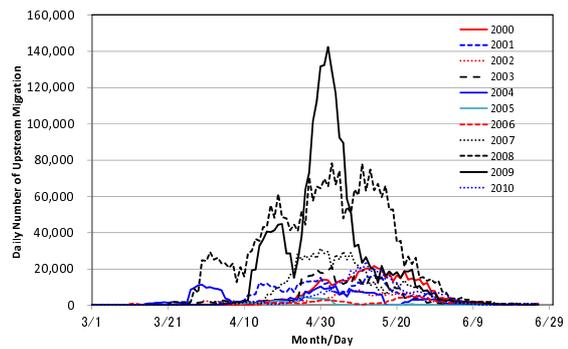


Fig.1 Daily number of upstream migration of sweetfish at Nagara river barrage. 10 days moving averaged data are shown.

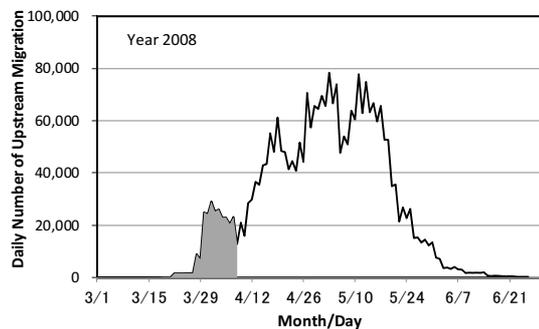


Fig.2 Same as Fig.1, but for the data of 2008 are shown. Shaded area is defined as the first group of upstream migration.

一されている平成12年（2000年）から平成22年（2010年）までの毎日のアユ遡上数データを解析対象とした。

Fig.1には長良川河口堰のアユ遡上数の日々の変化を示す。日々のアユ遡上数観測データには天候や濁りなどの影響で数日間の短期的な変動がみられた。短期的な変動を取り除いて旬の変化に注目するために、アユ遡上数に10日間の移動平均を施した。図示のように、アユ遡上数は年によって大きく変動する。遡上総数については2008年の269万尾、2009年の217万尾をピークに、2006年の13万尾、2005年の7万尾まで、年による大きな変動がある。

山本(2009)は各地のアユ遡上数と環境要因について解析し、長良川のアユ遡上数と前年10月中旬の南知多の海水温と岐阜市降水量の関係を調べた。長良川では海水温との間に明瞭な関係は認められないが、和歌山県の日高川では海水温が高い年に遡上数が減少する傾向が報告されている。

Table 1 Number and dates of the upstream migration of sweetfish at Nagara river. Total migration number, date of the first migration, total number 1% excess date, 5% excess date, 50% excess date, last date of the first migration group, total number of the first migration group, the first group number 5% excess date, and migration number increase 400 excess date are shown.

Upstream migration	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Total number	437,696	315,018	70,157	130,024	785,887	2,695,955	2,174,478	471,415
Date of the first mig.	10-Feb	6-Feb	19-Feb	17-Feb	7-Feb	5-Feb	10-Feb	14-Feb
1% excess date	26-Mar	18-Mar	3-Apr	12-Mar	6-Apr	30-Mar	12-Apr	7-Apr
5% excess date	6-Apr	27-Mar	6-Apr	15-Apr	19-Apr	3-Apr	15-Apr	19-Apr
50% excess date	5-May	29-Apr	26-Apr	21-May	4-May	2-May	2-May	13-May
Last date of the first group	12-Apr	26-Mar	9-Apr	21-Mar	14-Apr	10-Apr	23-Apr	16-Apr
Total number of the first group	35,972	15,153	6,317	3,928	17,426	295,822	407,244	22,417
The first group 5% excess date	21-Mar	15-Mar	2-Apr	11-Mar	4-Mar	28-Mar	12-Apr	27-Mar
Number increase 400 excess date	24-Mar	15-Mar	4-Apr	11-Mar	2-Apr	22-Mar	10-Apr	7-Apr

Fig.1のアユ遡上数の日変化を見ると、遡上数にはピークがいくつか見られる。Fig.2には2008年の遡上数の変化を示す。2008年は4回ほどの遡上数のピークが認められる。ここで、アユ遡上群第一波を次のように定義する。

アユ遡上群第一波：最初の遡上数のピークを含む遡上数の最初の谷間までの間

第一波をFig.2に図示すると、網掛けの範囲となる。同様にして各年の第一波を抽出することができる。Table 1には、2003年から2010年までの各年の遡上総数、初遡上確認日、遡上総数の1%超過日、遡上総数の5%超過日、遡上総数の50%超過日、第一波の終了日、第一波の遡上総数、第一波の遡上総数の5%超過日、および遡上数増加数が400匹を超えた日を示す。なお、2000年、2001年および2002年は第一波が明瞭に認められなかったため、解析対象から除外した。

Table 1に示すように、長良川河口堰における初遡上確認日は2月5日（2008年）から2月19日（2005年）までである。それに対して第一波5%超過日は3月4日（2007年）から4月12日（2009年）までであり、初遡

上確認日との関係は見られない。また第一波終了日が早い年は概ね第一波5%超過日も早い傾向にあるが、必ずしも対応が良いわけではない。

2.2 水温

長良川の河川水温は国土交通省の水文水質データベース(<http://www1.river.go.jp/>)から伊勢大橋観測所のデータを入手した。観測点の位置をFig.3に示し、観測所の概要をTable 2に示す。各月の平均水温を算出し、解析に用いた。

伊勢湾の海面水温は三重県水産研究部³⁾による伊勢湾内の浅海定線観測結果から、長良川河口部に近い地点1及び地点2を解析対象とした。観測点の位置をFig.4に示し、観測概要をTable 3に示す。伊勢湾内に16か所の定点観測ポイントが定められており、観測船により月1回の観測が行われている。ただし、観測日は海象条件の良好な日であり、定まっていない。観測項目は鉛直各層の流向・流速・水温・塩分・DO・クロロフィルと、海面表層のpH・COD等の各要素である。水温の観測層は海面（水深0m）、水深2m、5m、10m、20m、30mである。解析対象とした地点1と地点2について、長良川河口に近いのは地点2であるが、

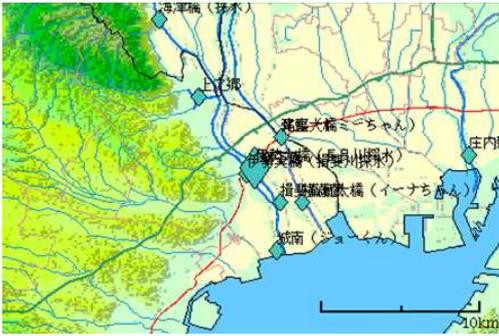


Fig.3 Ise-Oohashi observation station (Large marker).
From water information system <http://www1.river.go.jp/>.

Table 2 Detailed information of Ise-Oohashi station.

Name	Ise-Oohashi (Nagara river)
Observed data	Water quality, bottom quality
Station number	405091285515160
River system	Kiso river
River	Nagara river
Address	Nagashima, Kuwana city, Mie pref.
Latitude	Lat. 35° 05' 00"
Longitude	Lon. 136° 41' 42"

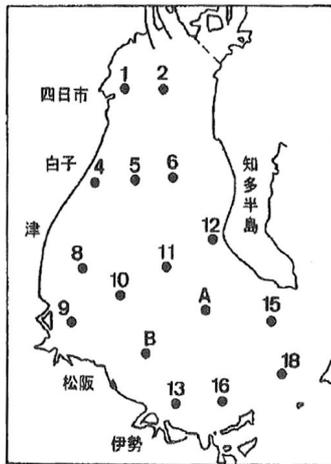


Fig.4 Observation points at Ise Bay by Mie Prefecture Fisheries Research Institute.
<http://www.mpstpc.pref.mie.lg.jp/sui/>.

Table 3 Detailed information of Ise Bay observation.

Frequency	Once a month
No. of points	16 defined points
Observation elements	Water temperature, salinity, current direction and speed, turbidity, DO, chlorophyll a, pH, COD, NH4-N, NO2-N, NO3-N, PO4-P, plankton

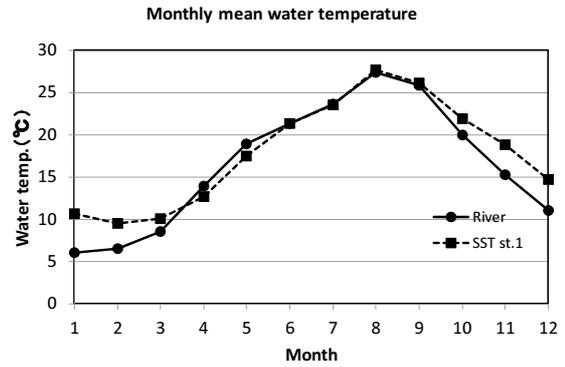


Fig.5 Monthly mean water temperature at Ise-Oohashi (river) and SST st.1 (ocean). Monthly mean data were calculated from 2001 to 2011.

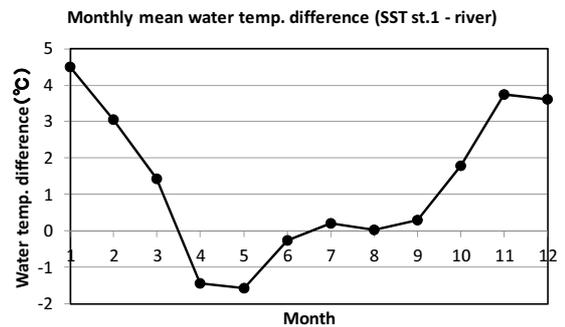


Fig.6 Monthly mean water temperature difference between ocean and river (SST st.1-river). Monthly mean data were calculated from 2001 to 2011.

海底水深は地点1が約10m, 地点2が約24mであり, 地点1の方が水深が浅く沿岸に近いデータである. 以下の解析では, 水深2mの観測データを対象とした.

Fig.5には河川水温と地点1の海面水温の2001年から2011年までの月平均値を示す. 8月に海面水温, 河川水温ともに最も高温となるが, 約27°Cであり, 平均水温が30°Cを超えることはない. また11月には海面水温が20°Cを下回り, アユの生育に適した環境となっている.

水温の季節変化は, 9月から冬場を経て3月までは海面水温が河川水温よりも温度が高い. 河川水温の方が気温や日射の変化の影響を強く受けることと, 海水は熱容量が大気よりも大きく蓄熱効果により冬場の水温が低下しないことに起因している. 4月から6月にかけては河川水に対する気温の上昇と日射の影響が強くなり, 河川水温が海面水温よりも高くなり, 3月までの傾向と逆転する. Fig.6には月平均の水温差(海面水温-河川水温)を示す. 4月から6月までは水温差が逆転し, 河川水温が海面水温よりも高くなる期間が出現する.

3. アユの遡上と水温の関係

ここでは2003年から2010年までのアユ遡上データと、海面水温および河川水温データとの関係について解析した。アユの遡上については、Table 1に示す各年の遡上総数、初遡上確認日、遡上総数の1%超過日、遡上総数の5%超過日、遡上総数の50%超過日、第一波の遡上総数の5%超過日、および遡上数増加数が400匹を超えた日を目的変数とした。説明変数として地点1の海面水温、地点2の海面水温、河川水温、および水温差（海面水温－河川水温）を設定し、目的変数との単相関を調べた。各水温は目的変数として現れる期間の平均水温を算定して解析したほか、遡上総数については稚魚が流下する前年11月から12月の水温との関係も調べた。

Table 4およびTable 5には地点1および地点2の2003年から2010年までの各月海面水温データと、説明変数として設定した1月から3月、3月から4月、4月から5月、2月から6月、および前年11月から12月の平均海面水温を示す。Table 6には伊勢大橋の長良川の平均河川水温について同様なデータを示し、Table 7には3月から4月の平均海面水温の地点1と地点2のデータ、および平均水温差（海面水温－河川水温）の地点1および地点2のデータを示す。

3.1 海面水温との関係

Fig.7には地点1の海面水温に関して、(a)初遡上確認日と1月から3月の平均海面水温との関係、(b)遡上総数の1%超過日と3月から4月の平均海面水温との関係、(c)遡上総数の5%超過日と3月から4月の平均海面水温との関係、(d)遡上総数の50%超過日と4月から5月の平均海面水温との関係、(e)第一波の遡上総数の5%超過日と3月から4月の平均海面水温との関係、(f)遡上数の日変化が400匹を超える日と3月から4月の平均海面水温の関係、(g)遡上総数と前年11月から12月の平均海面水温の関係、(h)遡上総数と2月から6月の平均海面水温の関係を単相関解析結果と合わせて示す。また、地点2の海面水温との関係についてFig.8に同様にして示す。

海面水温と相関がある程度認められる目的変数は、Fig.7,8(b)遡上総数の1%超過日、およびFig.7,8(f)遡上数の日変化が400匹を超える日である。3月から4月の海面水温が高くなるほど、遡上総数1%超過日と日変化400匹超過日は遅くなる傾向がある。また相関は弱い、3月から4月の海面水温が高くなるほど(e)第一波5%超過日が遅くなる傾向がみられる。これらの傾向は、遡上時期の海面水温が高くなるとアユの遡上開始時期が遅くなることを示している。ただし、(a)初遡上確認日についてはその傾向は見られず、その

年のアユの遡上時期を代表する指標として適切ではないものと考えられる。

遡上総数と海面水温の関係を調べると、Fig.7,8(g)によれば、前年11月から12月の水温が18℃を超えると遡上総数が少なくなる傾向がみられる。高橋・東(2006)によればアユの産卵開始は河川水温が20℃に低下した頃が目安となり、産卵が活発になるのは水温が15℃以下に低下した頃からであるとされている。水温が高い年はアユの産卵が不活発になるとすれば、産卵数の減少が流下する稚魚数の減少をもたらす、翌春に遡上するアユの個体数の減少をもたらしている可能性がある。

海面水温と最も相関の高い目的変数は、Fig.7,8(b)遡上総数の1%超過日であるが、相関係数の有意性を検定すると、地点1は有意水準5%で有意な相関があるが、地点2は有意な相関はみとめられないという結果となった。海面水温の観測値として地点1を用いた方が地点2に比べて相関が強いことは、アユの回遊域との関連性を示唆している可能性が考えられるが、アユの生息分布は水温以外の要因とも深くかかわっていることから、今後のより詳細な解析が必要である。

3.2 河川水温との関係

Fig.9にはFig.7,8と同じ目的変数に対して、説明変数を伊勢大橋の河川水温に代えた場合の解析結果を示す。

河川水温と相関がある程度認められる目的変数は、Fig.9(a)初遡上確認日、(e)第一波の遡上総数5%超過日、および(f)遡上数の日変化が400匹を超える日である。いずれも遡上開始時期の河川水温が高くなるほど日付（遡上開始時期）が早まる傾向がある。また相関は弱い、3月から4月の河川水温が高くなるほど(b)遡上総数の1%超過日が早くなる傾向がみられる。アユの遡上開始時期に及ぼす水温の影響は、河川水温は海面水温と逆の傾向を示している。

河川水温と最も相関の高い目的変数はFig.9(e)第一波の遡上総数5%超過日である。この目的変数は、海面水温との相関は弱かったが、河川水温との相関が高くなっている。相関係数の有意性を検定すると、Fig.9(e)の相関は有意水準5%に対して有意な相関がみとめられないという結果になった。

3.3 水温差との関係

アユの遡上開始時期と水温の関係については、次のような通説が存在する（高橋・東，2006）。

アユの遡上開始時期の通説：

・河川の水温が海域と同程度になるとアユの遡上

が本格的に始まる

この通説を検証するために、海面水温と河川水温の差を説明変数として、アユの遡上開始時期との関係を調べた。前節までの様々な遡上開始時の指標と海面水温と河川水温との解析結果から、アユの遡上開始時期の指標として次の3つが有効である可能性が示された。

アユの遡上開始時期の目安となる指標：

- ・遡上総数の1%超過日
- ・第一波の遡上総数の5%超過日
- ・遡上数の日変化が400匹を超える日

Fig.10には、これら3つと初遡上確認日を加えて、水温差（海面水温－河川水温）を説明変数とする相関解析結果を示す。海面水温として地点1と地点2のそれぞれについて調べた。

遡上開始時期の指標としていずれに対しても、3月から4月の平均水温差（海面水温－河川水温）が大きくなるほど遡上開始時期は遅くなるという結果が得られた。これは、3月から4月の海面水温が河川水温よりも高い年はアユの遡上開始時期が遅いことを示している。遡上開始時期の指標の有効性を比較すると、最も相関が高く有効な指標は、Fig.10(e)(f)第一波の遡上総数の5%超過日であり、以下、(g)(h)遡上数の日変化が400匹を超える日、(c)(d)遡上総数の1%超過日の順である。(a)(b)初遡上確認日は相関が弱く、指標としての有効性は低い結果となった。

説明変数として水温差を用いることの有効性を調べると、Fig.10(e)(f)第一波の遡上総数の5%超過日と(g)(h)遡上数の日変化が400匹を超える日を目的変数とした場合には、水温差を用いた方が海面水温、河川水温単独の場合よりも相関が高くなっている。Fig.10(a)(b)初遡上確認日については水温差よりも河川水温との相関が高く、(c)(d)遡上総数の1%超過日については水温差よりも海面水温との相関が高いという結果となった。

相関係数の有意性を検定すると、有意水準5%で有意な相関があるのは、Fig.10(e)第一波の遡上総数の5%超過日と水温差（地点1海面水温－河川水温）の関係だけであり、他はすべて有意な相関はみとめられないという結果となった。

以上の解析結果をまとめると、最も相関の高いアユの遡上開始時期の指標と、その説明変数は次の通りとなった。

アユの遡上開始時期の指標：

- ・第一波の遡上総数の5%超過日

説明変数：

- ・3月から4月の平均水温差（海面水温－河川水温）

また、水温差との関係についても海面水温の観測値として地点1を用いた方が地点2に比べて相関が強いことは、遡上前のアユは水深の浅い地点1の周辺海域を回遊している可能性も考えられる。このような水温差とアユの遡上との関連性を調べるにより、アユの回遊域との関連を調べることが可能になる。

4. 河川海洋結合モデルによる検討

水温差とアユの遡上開始時期との関係を日別に詳しく検討するために、鈴木ら（2014）は河川海洋結合モデルによる海面水温と河川水温の計算値をもとに水温差を検討した。2004年を対象としたモデル計算による計算値を月別の海面水温と河川水温の観測値を用いてバイアス補正した結果をFig.11に示す。2004年のアユの遡上開始時期は、第一波の5%超過日は3月15日であり（Table 1）、その日の水温差は1.42℃となっている。3月15日以降、河川水温の上昇とともに水温差は急激に小さくなり、6月中旬まで河川水温が海面水温より高い時期が続いている。

アユの遡上開始時期と水温の関係についての通説“河川の水温が海域と同程度になるとアユの遡上が本格的に始まる”との関係をみると、第一波の5%超過日の水温差は1℃以上の開きがあるものの、海域水温の代表性などを考慮すると、通説は概ね妥当であると考えられる。

河川海洋結合モデルを用いれば将来気候の変化による海洋と河川の水温変化を調べることができ、アユの遡上開始時期の将来変化などの解析を行うことが可能となる（鈴木ら，2014）。

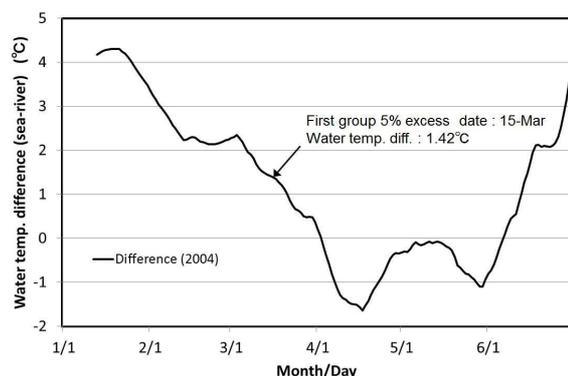


Fig.11 Daily water temperature difference (SST st.1 - river) at the year 2004. Water temperatures of sea and river were calculated by coupled river-ocean model (suzuki, 2014), and the temperature biases were corrected using bias data between model results and observations.

Table 4 Water temperature SST (°C) at st.1 from 2003 to 2010.

Water temp. SST st.1	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
January	8.74	11.20	11.80	8.72	11.44	10.14	11.19	11.38
February	8.57	9.34	10.18	7.18	10.29	9.43	10.41	10.07
March	9.26	10.00	9.41	9.05	11.51	10.97	10.80	10.34
April	12.14	13.07	13.88	10.50	12.48	12.54	12.67	12.10
May	14.69	16.90	17.23	18.09	17.66	18.00	15.74	18.82
June	22.08	21.88	22.31	18.17	23.25	21.62	19.88	21.15
July	22.53	24.95	23.57	22.14	23.43	24.14	23.70	22.71
August	26.91	27.68	28.38	26.01	27.81	27.44	27.09	29.68
September	24.42	26.35	25.20	25.55	27.57	25.49	23.50	30.55
October	21.28	20.41	23.52	22.10	21.62	22.44	20.93	21.81
November	20.17	22.64	19.52	20.81	16.53	19.28	18.39	19.24
December	17.81	16.94	11.32	12.99	14.27	14.68	16.29	15.63
Mean temp.	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Jan-Mar	8.86	10.18	10.46	8.32	11.08	10.18	10.80	10.60
Mar-Apr	10.70	11.54	11.65	9.78	12.00	11.76	11.74	11.22
Apr-May	13.42	14.99	15.56	14.30	15.07	15.27	14.21	15.46
Feb-Jun	13.35	14.24	14.60	12.60	15.04	14.51	13.90	14.50
Prev. Nov-Dec	13.60	18.99	19.79	15.42	16.90	15.40	16.98	17.34

Table 5 Water temperature SST(°C) at st.2 from 2003 to 2010.

Water temp. SST st.2	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
January	8.57	10.72	10.91	8.44	10.13	10.74	10.35	10.42
February	8.07	9.24	9.48	7.52	10.73	8.58	10.35	9.08
March	8.98	10.02	9.77	8.71	11.46	10.28	10.34	10.90
April	11.71	12.55	13.25	10.14	12.33	13.05	12.00	11.98
May	15.43	17.29	17.87	18.22	17.43	17.68	16.80	18.57
June	21.86	21.53	22.00	19.16	22.98	20.60	20.35	20.51
July	22.88	25.29	24.35	21.06	23.48	23.99	23.78	22.49
August	25.53	27.79	27.51	26.00	27.14	27.04	26.68	29.33
September	24.50	26.20	25.30	25.89	27.09	25.87	24.20	30.21
October	21.14	21.19	23.34	22.71	21.31	22.53	20.75	21.73
November	18.24	21.73	19.91	21.07	16.72	19.75	19.47	18.70
December	15.81	17.43	12.37	13.70	15.36	15.27	15.79	15.24
Mean temp.	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Jan-Mar	8.54	9.99	10.05	8.22	10.77	9.87	10.35	10.13
Mar-Apr	10.35	11.29	11.51	9.43	11.90	11.67	11.17	11.44
Apr-May	13.57	14.92	15.56	14.18	14.88	15.37	14.40	15.28
Feb-Jun	13.21	14.13	14.47	12.75	14.99	14.04	13.97	14.21
Prev. Nov-Dec	15.12	17.03	19.58	16.14	17.39	16.04	17.51	17.63

Table 6 Water temperature (°C) at Nagara river Ise-Oohashi from 2003 to 2010.

Water temp. Nagara river	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
January	5.50	8.10	6.30	5.50	7.30	6.80	6.70	5.00
February	5.30	6.80	5.00	5.80	8.40	6.30	6.50	6.80
March	7.00	8.50	7.00	10.00	10.80	7.00	9.00	9.40
April	15.00	17.00	12.00	12.00	14.20	15.40	12.90	12.30
May	20.50	17.00	17.00	18.00	21.30	19.40	21.00	17.00
June	21.00	22.00	21.00	23.00	22.10	19.00	22.30	19.70
July	21.90	27.00	21.00	25.10	22.40	21.00	24.40	21.00
August	27.20	26.00	29.00	24.30	27.00	30.10	26.30	26.60
September	25.80	22.00	24.50	25.60	26.30	24.90	25.60	30.80
October	19.00	17.80	23.00	21.80	20.60	20.10	18.10	20.40
November	17.00	14.50	15.00	15.80	16.90	14.70	15.80	14.20
December	12.80	11.00	10.00	12.20	10.20	9.90	11.70	11.50
Mean temp.	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Jan-Mar	5.93	7.80	6.10	7.10	8.83	6.70	7.40	7.07
Mar-Apr	11.00	12.75	9.50	11.00	12.50	11.20	10.95	10.85
Apr-May	17.75	17.00	14.50	15.00	17.75	17.40	16.95	14.65
Feb-Jun	13.76	14.26	12.40	13.76	15.36	13.42	14.34	13.04
Prev. Nov-Dec	11.00	14.90	12.75	12.50	14.00	13.55	12.30	13.75

Table 7 Mean water temperature (°C) and difference (SST – river) from 2003 to 2010.

Mean temp. Mar-Apr	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
SST st.1	10.70	11.54	11.65	9.78	12.00	11.76	11.74	11.22
SST st.2	10.35	11.29	11.51	9.43	11.90	11.67	11.17	11.44
Difference SST st.1 – river	-0.30	-1.22	2.15	-1.23	-0.50	0.56	0.79	0.37
Difference SST st.2 – river	-0.65	-1.47	2.01	-1.58	-0.61	0.47	0.22	0.59

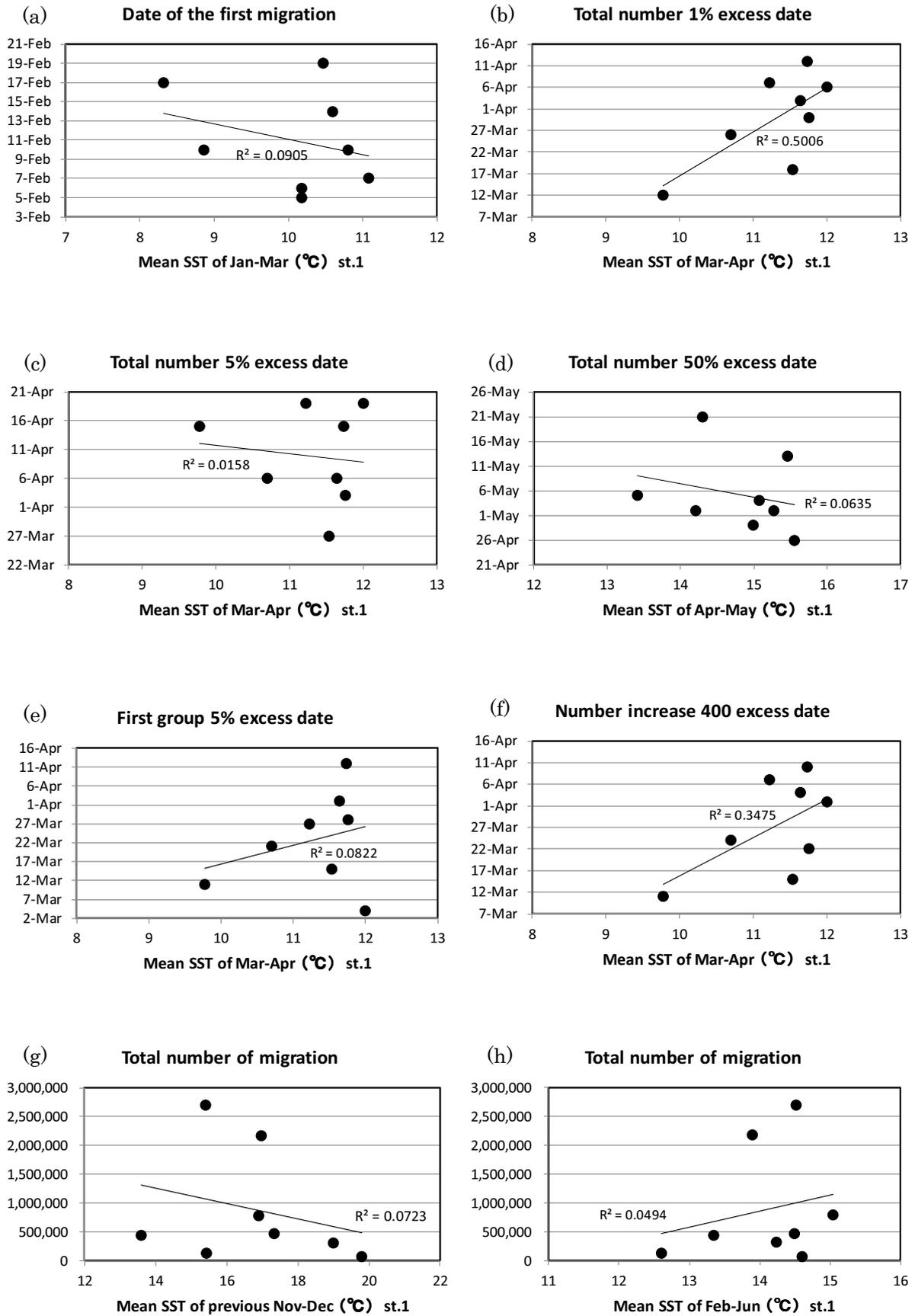


Fig.7 Relation between sweetfish migration and water temperature SST st.1, (a) date of the first migration, (b) total number 1% excess date, (c) 5% excess, (d) 50% excess, (e) first group 5% excess, (f) number increase 400 excess, and (g),(h) total number of migration.

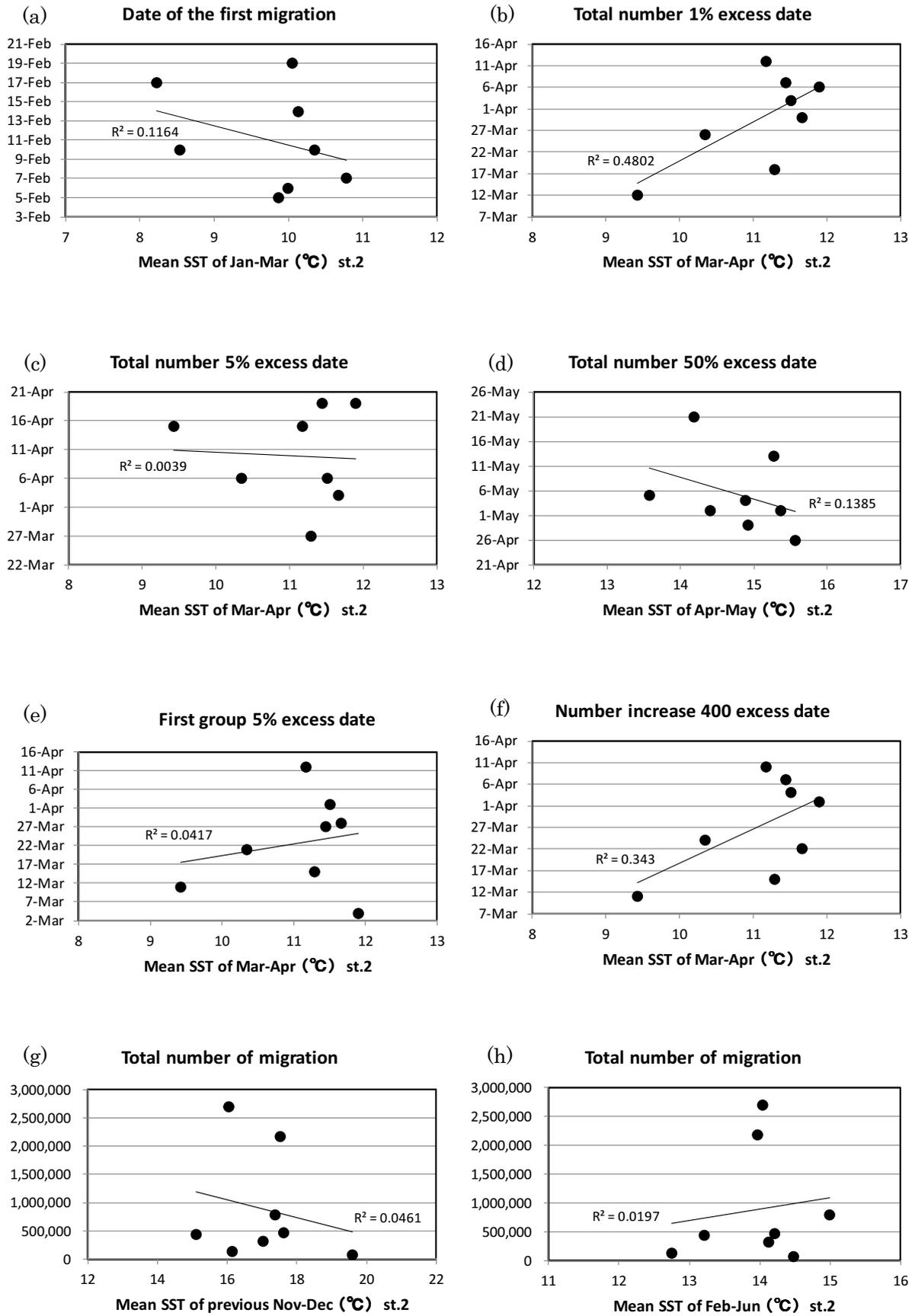


Fig.8 Same as Fig.7 but for water temperature SST st.2.

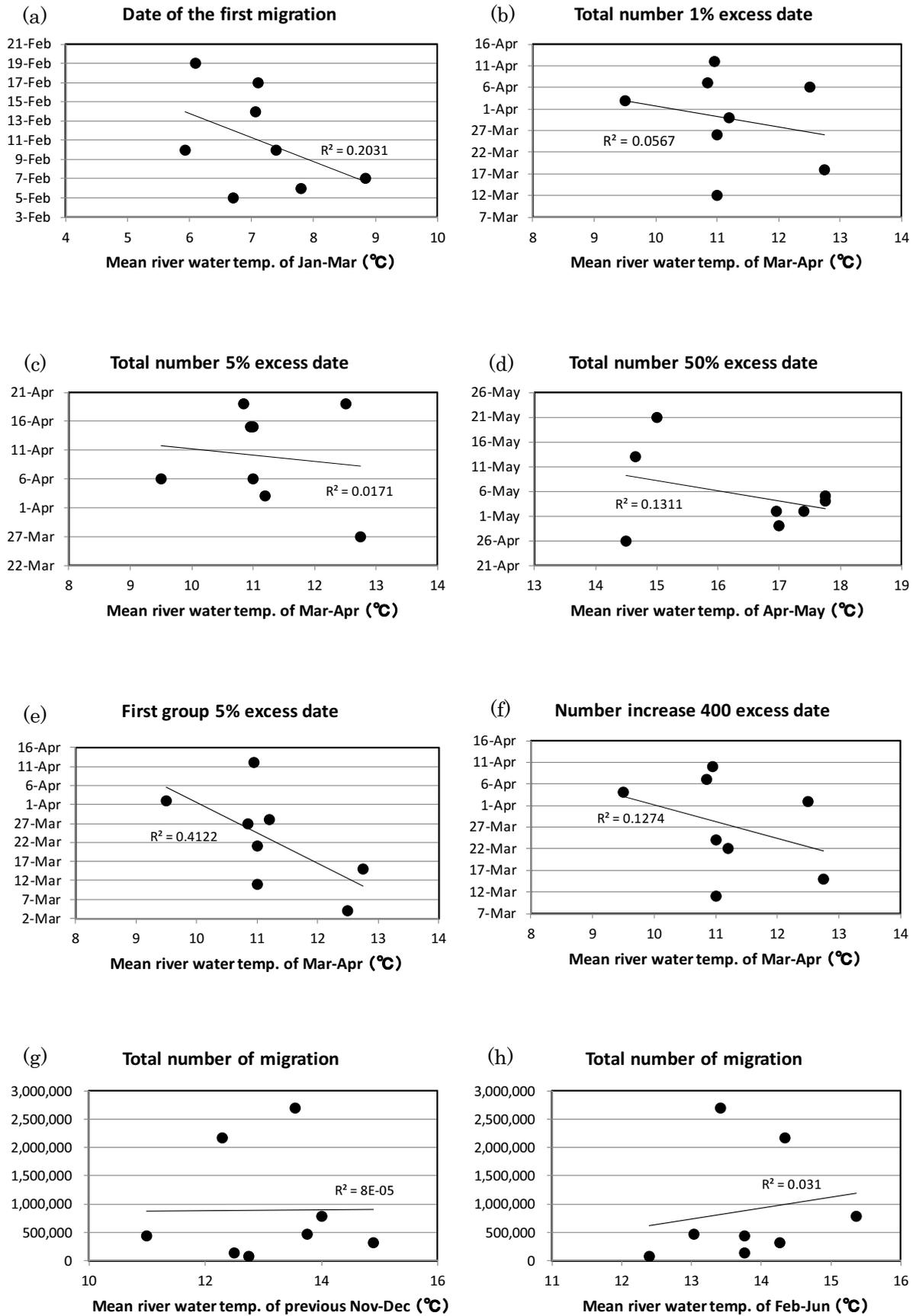


Fig.9 Same as Fig.7 but for water temperature at Nagara river.

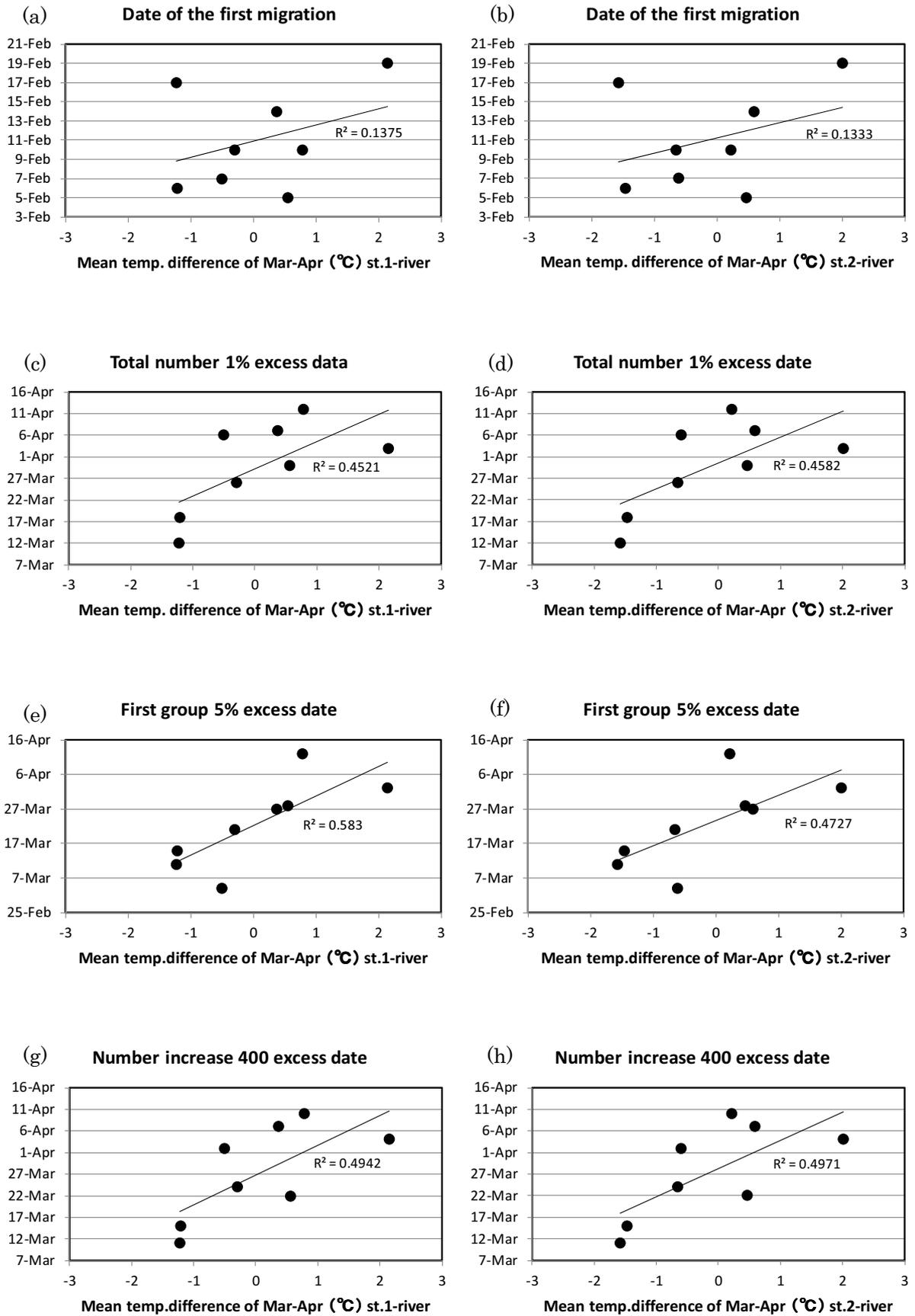


Fig.10 Same as Fig.7 but for the mean water temperature difference (SST – river).

5. おわりに

鈴木ら (2014) は、木曾三川と伊勢湾の水温の将来変化が河川と沿岸部を生息域とするアユの遡上時期に及ぼす影響について、河川海洋結合モデルを用いて検討した。その結果、アユ遡上開始時期と水温差 (海面-河川) の間には明瞭な相関関係があること、水温差とアユの遡上開始時期との関連性が将来も変わらず、現在の遡上時期の水温差が将来もそのまま指標となることを仮定すると、21世紀末のアユの遡上開始時期は約1か月早まる可能性があることを明らかにした。本論文では、鈴木ら (2014) の検討の基礎データとなった長良川におけるアユの遡上時期、遡上数と河川水温、海域水温との関係について、詳細に解析することを目的とした。

海面水温とアユの遡上開始時期との解析から、相関が高い目的変数は、遡上総数の1%超過日、および遡上数の日変化が400匹を超える日である。3月から4月の海面水温が高くなるほど、遡上総数1%超過日と日変化400匹超過日は遅くなる傾向がある。また、海面水温の観測値として地点1を用いた方が地点2に比べて相関が強いことがわかった。

河川水温の解析からは、相関が高い目的変数は、第一波の遡上総数5%超過日、および遡上数の日変化が400匹を超える日である。3月から4月の河川水温が高くなるほど第一波の遡上総数5%超過日とび遡上数の日変化が400匹を超える日は早まる傾向がある。これは海面水温と逆の傾向を示している。

水温差 (海面水温-河川水温) の解析からは、最も相関が高い指標は、第一波の遡上総数の5%超過日であり、以下、遡上数の日変化が400匹を超える日、遡上総数の1%超過日の順である。初遡上確認日は相関が弱く、指標としての有効性は低い結果となった。遡上開始時期の指標としていずれに対しても、3月から4月の平均水温差 (海面水温-河川水温) が大きくなるほど遡上開始時期は遅くなるという結果が得られた。第一波の遡上総数の5%超過日と水温差 (地点1海面水温-河川水温) の関係は、有意水準5%で有意な相関がある。

以上の解析結果から、アユの遡上開始時期の目安としては、第一波の遡上総数の5%超過日が有効な指標となること、また、水温の説明変数としては3月から4月の平均水温差 (海面水温-河川水温) が適切であることがわかった。

本論文で解析した水温データは観測頻度や観測地点数がまだ十分ではない。より詳細な水温観測データが得られれば、アユの遡上開始時期との関連のみならず、遡上前のアユの回遊域や生息水深などとの関連等、より詳細な検討が可能となる。また、河川

海洋結合モデルによる解析をさらに進めることにより、将来の気候変化がアユの生息環境に及ぼす影響をより詳しく調べることが可能となる。

謝 辞

長良川河口堰のアユ遡上数データは (独) 水資源機構長良川河口堰管理所から、漁海況データは三重県水産研究所から提供いただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 鈴木靖・佐藤嘉展・道広有理・Sergey M.Varlamov (2012): 河川海洋結合モデルによる伊勢湾の河川流出水の影響について, 土木学会論文集B3 (海洋開発), Vol. 68, No. 2, pp.I_1001-I_1006.
- 鈴木靖・佐藤嘉展・本間基寛・道広有理・Sergey M. Varlamov (2013): マルチモデルアンサンブルによる伊勢湾水温の将来変化予測と気候変化外力の影響分析, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol. 69, No. 2, pp.I_1286-I_1290.
- 鈴木靖・本間基寛・佐藤嘉展・道広有理・竹門康弘 (2014): 水温の将来変化がアユの遡上時期に及ぼす影響について, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.70, No.4, pp.I_1213-I_1218.
- 高橋勇夫・東健作 (2006): ここまでわかったアユの本, 築地書館, 265pp.
- 田子泰彦 (2002): 富山湾の湾奥部で成育したアユ稚魚の河川への回遊遡上, 日本水産学会誌, Vol. 68, pp. 554-563.
- 田子泰彦 (2004): 富山湾への流入河川における遡上アユの大きさと水温の関係, 水産増殖, Vol. 52, No. 4, pp.315-323.
- 長良川河口堰管理所: アユの遡上調査方法, http://www.water.go.jp/chubu/nagara/15_sojou/choushouhou.html, 2014年6月4日閲覧.
- 三重県水産研究所: 漁海況予報関係事業結果報告書 (漁海況データ集), 平成12年度~平成22年度.
- 文部科学省・気象庁・環境省 (2013): 気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート「日本の気候変動とその影響」, 85pp.
- 山本祥一郎 (2009): アユの遡上量を予測する, 全国湖沼河川養殖研究会第82回大会要録, pp.32-40.

(論文受理日: 2014年6月11日)