
1981～2015年の瀬戸内海における水質項目の時空間変動： 行政調査データを用いた解析

Spatiotemporal changes in water quality in the Seto Inland Sea from 1981 to 2015: Analyses of public survey data

金谷弦*、牧秀明
Gen Kanaya*, Hideaki Maki

〒305-8506 つくば市小野川 16-2 国立環境研究所 地域環境保全領域 海域環境研究室
National Institute for Environmental Studies (NIES), 16-2 Onogawa, Tsukuba, 305-8506 Japan.

* Corresponding author; Gen Kanaya, +81-29-850-2590, gen@nies.go.jp

Abstract

Long-term changes (from the 1980s to 2010s) in the water quality of the Seto Inland Sea, a semi-enclosed bay system in southwestern Japan consisting of 12 sea regions, were determined by analyzing public survey data. The average bottom water temperature (BWT) from 2010 to 2014 differed among the sea regions, for example, in January, it was lowest at Harima Nada and Bisan Seto (7.3–10.0°C) and highest in Kii Suido and Bungo Suido (11.5–14.4°C). BWT ranged from 15.0 to 23.3°C in May and July, and from 22.5 to 25.2°C in October. The spatial distribution of cold- or warm-water bodies corresponded well to those of high-salinity waters, indicating penetration of the Kuroshio Current from the Pacific Ocean. BWT increased significantly from the 1980s to 2010s in most sea regions and seasons. The overall mean increase in BWT was the largest in October (+5.82°C 100-yr⁻¹), especially in Osaka Bay and Hibiki Nada (+9.25 and +9.10°C 100-yr⁻¹, respectively). Hypoxic bottom water (dissolved oxygen [DO] < 4.0 mg l⁻¹) occurred mainly in inner Osaka Bay in May, July, and October. From the 1980s to 2010s, the bottom DO gradually increased in five sea regions in July, but decreased in Kii Suido and Osaka Bay in October, which may partly be due to the rising BWT in autumn. The chlorophyll *a* concentration decreased significantly from the 1980s to 2010s in two to eight regions in January, May, July, and October. By contrast, chlorophyll *a* increased significantly in Harima Nada (January, July, and October), Bisan Seto (January and May), and Bingo Nada (January).

Keywords: Bottom water quality, Temperature, Salinity, Dissolved Oxygen (DO), Chlorophyll *a*, Seto Inland Sea

1. はじめに

世界各地の沿岸域において、気候変動に伴う中長期的な環境変動が底生生態系の構造や機能に大きな影響をおよぼす可能性が指摘されている。近年になって、気候変動が海洋生態系に及ぼす影響について多くの知見が得られ (Hoegh-Guildberg and Bruno 2010)、海産生物に与える影響を実験室や屋外の隔離水界内で検証した事例 (Lewandowska and Sommer 2010, Hale et al. 2011) や、長期的な野外調査データに基づいて評価した事例も増えてきている (Harley 2011, Henderson et al. 2011, Kröncke et al. 2011, Rousi et al. 2013, Hiddink et al. 2015)。その結果、気候変動にともなう気象の変化、例えば日照や雨の降り方、風の吹き方の変化、水温の上昇、成層状態や海流の変化など、さまざまな変化の結果として、沿岸域の生物生産や群集構造、種間関係や種の緯度分布などが大きく変わる可能性が指摘されている (Lejeusne et al. 2010,

English title: Kanaya and Maki (2022) Spatiotemporal changes in water quality in the Seto Inland Sea from 1981 to 2015: Analyses of public survey data. Marine Environment Section, Regional Environment Conservation Division, NIES, Tsukuba. p. 89
<http://doi.org/10.34462/00000023>

Birchenough et al. 2015)。

閉鎖的な沿岸海域や汽水域は、栄養塩負荷の変動や埋め立てなど、人為的な環境攪乱による影響を受けやすく、洪水や干魃など河川流量の変化に伴う塩分変動や土砂、有機物の流入・堆積、夏期における貧酸素水塊の発達などによる環境変動も非常に大きい (Dolbeth et al. 2011, Murphy et al. 2011)。閉鎖的な沿岸海域において将来的な気候変動が生物群集に及ぼす影響を評価するためには、過去の一定期間における長期的なデータセットを用いて各環境変数の時空間変動パターンを把握しておくことが重要である。

本報文では、瀬戸内海で 1980 年代～2010 年代に行われた行政調査データを用いて、水温・水質に関する時空間変動解析を行った。解析に用いたデータは、環境省が年に 4 回、1 月、5 月、7 月および 10 月に実施している広域総合水質調査と、各府県が毎月実施している浅海定線調査である。水質項目の中で、本報告では底層水温、底層塩分、底層溶存酸素 (DO)、底層および表層クロロフィル *a* (chl. *a*) を解析に使用した。

2. 方法

解析には、1980 年代以降に瀬戸内海で実施された「広域総合水質調査 (環境省が実施)」および「浅海定線調査 (瀬戸内海に面した各府県が実施)」の水質データを用いた。広域総合水質調査は毎年 1 月、5 月、7 月および 10 月に以下の 124 地点 (Fig. 1 上)、浅海定線調査については基本的に毎月 1 回、以下の 187 地点 (Fig. 1 下) で実施されている。環境省が実施している瀬戸内海環境情報基本調査の測深データ (1990 年代の第 2 回調査、425 地点) を用いて、瀬戸内海全体の水深分布図を作成し Fig. 2 に示した。豊後水道に水深 80 m を越える海域があり、水深 50 m を越える海域は豊後水道、伊予灘周辺、紀伊水道と大阪湾西側に分布している。その他の海域は 50 m より浅く、大阪湾、播磨灘の沿岸部、備讃瀬戸、備後灘、燧灘、広島湾、周防灘では 30 m よりも浅い海域が広く分布している。

浅海定線調査のデータについて、各地点における年間 12 回の測定データの中での最低・最高値を「年間最低水温 annual minimum water temperature」「年間最高水温 annual maximum water temperature」と定義した。多くの解析において、12 の湾灘 (紀伊水道、大阪湾、播磨灘、備讃瀬戸、備後灘、燧灘、安芸灘、広島湾、伊予灘、周防灘、豊後水道、響灘) 毎にデータをまとめて整理した。湾灘の区分と含まれる地点数について Fig. 1 に示した。また、広域総合水質調査の調査地点のリストと、各地点の緯度経度は Supplementary table 1 に示した。

2. 1. 各湾灘における平均底層水温

各湾灘について、2010～2014 年の底層水温 (広域総合調査データ) を用い、1 月、5 月、7 月、10 月における平均値を算出した。また、年間最低・最高底層水温 (浅海定線調査データ) を用いて 2010～2014 年の平均値を算出した。

2. 2. 各湾灘における底層水温の経年変化

各湾灘について、1980 年代以降のデータを用いて 1 月、5 月、7 月、10 月における底層水温 (広域総合調査データ) の経年変動散布図を作成し、年を説明変数とした単回帰分析をおこなった。1 月は 1982～2015 年、5 月、7

月、10 月は 1981～2014 年のデータを用いて解析をおこなった。また、同様の解析を年間最低・最高水温（浅海定線調査データ）についても実施した。各月および年間最低・最高底層水温について、有意な相関が見られた場合の回帰直線の傾き（水温変化速度； $\Delta^{\circ}\text{C } 100\text{-yr}^{-1}$ ）を湾灘毎にまとめた。

2. 3. 瀬戸内海における 1 月、5 月、7 月および 10 月の底層水温と底層塩分の空間分布

瀬戸内海全域での冷水塊・暖水塊の空間分布を把握するため、1980 年代以降の底層水温データ（広域総合調査データ）を用いて 1 月、5 月、7 月および 10 月の空間分布図（コンタ図）を作成した。1 月は 1982～2015 年、5 月、7 月、10 月は 1981～2014 年のデータを用いて解析をおこなった。黒潮の入り込みと水温分布との関係を推定するため、底層塩分（広域総合調査データ）の分布図も併せて作成した。

2. 4. 瀬戸内海における年間最低・最高底層水温の空間分布

1980 年代以降の年間最低底層水温と年間最高底層水温（いずれも浅海定線調査データ）データを用いて、空間分布図（コンタ図）を作成した。解析には 1981～2014 年のデータを使用した。

2. 5. 各湾灘における 7 月と 10 月の底層 DO の経年変化

各湾灘について、1980 年代以降のデータを用いて 7 月と 10 月の底層 DO（広域総合調査データ）について経年変動散布図を作成し、年を説明変数とした単回帰分析をおこなった。解析には 1981～2014 年のデータを使用した。

2. 6. 瀬戸内海における 1 月、5 月、7 月および 10 月の底層 DO の空間分布

1980 年代以降の底層 DO データ（広域総合調査データ）を用いて 1 月、5 月、7 月および 10 月における空間分布図（コンタ図）を作成した。1 月については 1982～2015 年、5 月、7 月および 10 月については 1981～2014 年のデータを用いて解析をおこなった。

2. 7. 大阪湾と播磨灘における底層水温と底層 DO の関係

大阪湾の 20 測点における底層水温と底層 DO のデータ（浅海定線調査データ、2010～2014 年を使用。DO の測定は 3 ヶ月に 1 度）および播磨灘の 19 測点における底層水温と底層 DO のデータ（同。毎月測定）を用い、底層水温と底層 DO の関係について、各測点における底層水温－底層 DO の散布図を作成し、底層水温を説明変数とした単回帰分析を行った。

2. 8. 各湾灘における 1 月、5 月、7 月および 10 月のクロロフィル *a* 濃度の経年変化

各湾灘について、1980 年代以降のデータを用いて 1 月、5 月、7 月および 10 月における表層および底層クロロフィル *a*（広域総合調査データ）の経年変動散布図を作成し、年を説明変数とした単回帰分析をおこなった。1 月は 1982～2015 年、5 月、7 月および 10 月は 1981～2014 年のデータを用いて解析をおこなった。

2. 9. 瀬戸内海における 1 月、5 月、7 月および 10 月の表層・底層クロロフィル *a* の空間分布

1980 年代以降の表層・底層クロロフィル *a* データ（広域総合調査データ）を用いて 1 月、5 月、7 月および 10 月の空間分布図（コンタ図）を作成した。1 月は 1982～2015 年、5 月、7 月、10 月は 1981～2014 年のデータを用いて解析をおこなった。

3. 結果と考察

3. 1. 各湾灘における平均底層水温

瀬戸内海における、2010～2014 年の 5 年間における湾灘毎の平均底層水温を Table 1 にまとめた。1 月の底層水温と年間最低水温は播磨灘や備讃瀬戸で 7.3～10.0°C と最も低く、黒潮の影響を受ける紀伊水道や豊後水道で 11.5～14.4°C と高かった。5 月には瀬戸内海全域で 15°C を越え、響灘や豊後水道では 17°C を越えた。7 月の底層水温はほとんどの海域で 20°C を越え、備讃瀬戸、備後灘、燧灘、響灘では 22°C を越えた。年間最高水温は 22.6～27.5°C の範囲にあり、播磨灘と備讃瀬戸で 26.7～27.5°C と最も高く、伊予灘で 22.6°C と最も低かった。10 月でも底層水温はさほど低下せず、22.5～25.2°C の範囲にあり、紀伊水道、大阪湾や播磨灘などの東部海域で 24.0～25.2°C と高い傾向を示した。播磨灘や備讃瀬戸周辺海域は夏場の高水温と冬場の低水温で特徴付けられる海域であり、気温変化の影響を強く受けていると考えられる。一方、水深も大きく外洋水の影響を受ける紀伊水道、豊後水道や伊予灘では底層水温が冬場は相対的に高く、一方夏場は低く、季節を通じて水温の変動が小さい海域であることがわかる。

3. 2. 各湾灘における底層水温の経年変化

各湾灘における 1 月、5 月、7 月、10 月及び年間最低、年間最高底層水温について、年を説明変数とした単回帰分析をおこなった (Fig. 3a～3f)。その結果、多くの海域で経年的に有意な底層水温の上昇が認められた (Table 2)。変化速度は 10 月が最大であり (全湾灘平均：+5.82°C 100-yr⁻¹)、年間最高水温 (同：+3.32°C 100-yr⁻¹) と年間最低水温 (同：+2.98°C 100-yr⁻¹) がこれに次いだ。変化速度は季節また海域により大きく異なっており、上昇が顕著な海域は、1 月と 10 月では大阪湾と響灘、5 月と 7 月では燧灘と安芸灘、年間最低水温では備讃瀬戸と備後灘、年間最高水温では紀伊水道と安芸灘であった。10 月の底層水温は、大阪湾と響灘で +9.25°C および +9.10°C 100-yr⁻¹ と最も大きな上昇速度を示し、播磨灘、備讃瀬戸、備後灘、広島湾、周防灘でも +6°C 100-yr⁻¹ を上回る速度で上昇しており、秋における底層水温の上昇が 1980 年代以降に広範囲で生じていたことが示された。

IPCC の第 3 次報告書 (IPCC 2001) では、100 年間で海水温は 2.9°C 上昇すると推定されている。また、日本近海の海面水温については気象庁 (2008) による予測結果があり、100 年あたりの海面水温上昇量は、A1B シナリオ (化石燃料と新エネルギーをバランスよく使う社会) で +2.0～3.1°C / 100 年、B1 シナリオ (持続的発展型社会) で +0.6～2.1°C / 100 年となっている。これらと比較すると、瀬戸内海で 1980 年代～2010 年代の間に生じた 10 月底層水温の上昇は、はるかに大きいことがわかる。

3. 3. 瀬戸内海における 1 月、5 月、7 月および 10 月の底層水温と底層塩分の空間分布

1980 年代～2010 年代までの 1 月、5 月、7 月および 10 月における底層水温・底層塩分の空間分布図を Fig. 4～7 に示した。

1 月における底層水温・底層塩分の空間分布図をみると (Fig. 4a～4f)、10°C 以下の冷水塊は、周防灘と備讃瀬戸～大阪湾にかけての海域に分布しており、11°C 以上の水塊は豊後水道～伊予灘と紀伊水道を中心に分布していた。年毎に暖水塊の分布域は変動したが、その分布範囲は紀伊水道および豊後水道～伊予灘周辺における高塩分底層水塊 (塩分 > 33) の分布と良く対応しており、1 月底層水温の空間分布は、黒潮の瀬戸内海底層への入り込み方に強く影響されていることが示唆された。5 月には、17°C 以上の暖水塊 (黄～橙) は豊後水道～伊予灘と紀伊水道を中心に分布していたが、年毎にその分布域は大きく変動し

ていた (Fig. 5a~5f)。暖水塊の分布範囲は、1月と同様に高塩分の底層水 (塩分 > 33~34) の分布と概ね対応していた。7月の底層水温分布は年毎の変動が大きかったが、21°C以下の冷水塊は豊後水道~伊予灘と紀伊水道を中心に分布し、高塩分水塊 (塩分 > 33) の空間分布と概ね対応していた (Fig. 6a~6f)。水温 23°C を越える暖水塊は周防灘や備後灘、備讃瀬戸周辺に分布し、その分布域は年ごとに大きく変化していた。10月の底層水温分布をみると、24°C以上の暖水塊は主に大阪湾と播磨灘を中心とした東部海域に分布し、年毎にその分布域は変動していた (Fig. 7a~7f)。1980年代を中心に、24°C以上の暖水塊がみられない年もあった。

3. 4. 瀬戸内海における年間最低・最高底層水温の空間分布

1981年~2014年までの年間最低底層水温の分布図を Fig. 8a~8c に示した。年間最低水温が 10°C を下回る海域は伊予灘や紀伊水道を除く全域に広範に分布していた。しかし、年によっては年間最低水温が 11°C を越える海域が伊予灘~広島湾~安芸灘まで張り出すこともあった。年間最低底層水温が低い海域であった周防灘、備讃瀬戸、播磨灘や大阪湾は冬期に「良く冷え込む」海域であることが示唆されるが、2007年のように瀬戸内海全域で年間最低底層水温が 10°C を下回る海域がほとんどみられない年もあった。年間最低底層水温が 13°C を越える海域は、ほとんどの年で紀伊水道南部に限定されていた。しかし、2007年や2010年のように暖水塊が豊後水道から伊予灘まで北上する年もあった。

2005~2014年の年間最高底層水温の分布をみると (Fig. 9a~9c)、年間最高底層水温が 26°C を越える海域は、備讃瀬戸や播磨灘周辺海域および周防灘西部に分布しており、これらの海域は夏期に「暖まりやすい」海域であることが示唆された。しかし、年間最高底層水温が 26°C を越える海域の分布範囲は年によって変動も大きい。例えば、1993年は年間最高水温が 26°C を越える海域はほとんどみられないが、1994年、1999年、2002年及び2004年には高水温域が拡大し、最高水温が 28°C を越える海域もみられた。一方、年間最高水温が 24°C を下回る低温の水塊は、伊予灘、周防灘、広島湾周辺に分布していることが多かった。

3. 5. 各湾灘における7月と10月の底層 DO の経年変化

一般に、水温の上昇は微生物による有機物分解活性を高め、その結果として底泥や水柱での酸素消費が進むため、溶存酸素濃度は低下する (Doney et al. 2012, 丸茂・横田 2012)。夏期における成層状態の発達には、表層水から底層水への酸素の供給を制限する。また、夏場に発生することの多い赤潮は、水柱から底泥へ新鮮な易分解性有機物 (植物プランクトン由来の有機物) を供給する。このような、複合的な要因により、閉鎖的な内湾域の底層水では夏場に溶存酸素が枯渇して貧酸素水塊が発生する (Murphy et al. 2011)。

夏期から秋期にかけての長期的な水温上昇と底層 DO の関係に着目し、海域毎に7月と10月の底層 DO について長期経年変動解析をおこなった (Fig. 10, 11)。その結果、7月の底層 DO は播磨灘、備讃瀬戸、燧灘、伊予灘および周防灘で年との間に有意な正の相関を示しており、1981~2014年までの期間に瀬戸内海の底層 DO 環境が改善したことを示唆していた。一方、10月の底層水温については、紀伊水道と大阪湾で有意な負の相関が検出された (傾き: -0.0138 及び -0.0363 mg O₂ l⁻¹ 年⁻¹)。回帰直線の傾きは、1981年~2014年の34年間において、紀伊水道では10月の底層 DO が平均で 0.47 mg l⁻¹、大阪湾では 1.23 mg l⁻¹ 低下したことを示している。Fig. 3d で得られた回帰式より、1981年~2014年の34年間に紀伊水道では平均で 1.40°C、大阪湾では 3.15°C、10月の底層水温が上昇したと推定された。海水の飽和 DO 濃度は塩分 30

の場合には 20°C で 7.59 mg l⁻¹、25°C で 6.94 mg l⁻¹であり、20～25°C の範囲では水温が 1°C 上昇するとおよそ 0.130 mg l⁻¹ 低下する。これらを併せて考えると、1981 年～2014 年の 34 年間に生じた底層 DO の低下分（紀伊水道：0.47 mg l⁻¹、大阪湾：1.23 mg l⁻¹）のうち、紀伊水道では 0.18 mg l⁻¹、大阪湾では 0.41 mg l⁻¹ が水温上昇による飽和 DO 濃度の低下による影響と推定された。一方、これを上回る底層 DO の低下分（紀伊水道：0.29 mg l⁻¹、大阪湾：0.82 mg l⁻¹）については、夏～秋にかけての水温上昇にともなう底泥・水柱における酸素消費速度の増大や、成層の強化といった要因が寄与している可能性が考えられる。なお、沈降有機物負荷の原因となる水柱の植物プランクトン量（chl. *a* 濃度；3.8.節，Fig. 18e～18h 参照）については、紀伊水道では 1981 年～2014 年の 34 年間に 7 月と 10 月の表層水・底層水いずれも有意な経年変動はみられず、大阪湾では 7 月と 10 月の表層水・底層水ともに有意な低下傾向にあった。

3. 6. 瀬戸内海における 1 月、5 月、7 月および 10 月の底層 DO の空間分布

1 月、5 月、7 月および 10 月における底層 DO の分布図を Fig. 12～15 に示した。Gray et al. (2002) によると、DO が 6.0～4.0 mg l⁻¹ の範囲で海産生物の成長に負の影響が生じ、その他の代謝過程についての負の影響は 4.0～2.0 mg l⁻¹ の範囲で生じ、DO が 2.0～0.5 mg l⁻¹ 以下に低下すると海産生物の死亡がおこるとされている。そこで、底層 DO が 4 mg l⁻¹ を下回る海域を Fig. 12～15 に青～水色で示した。1 月の底層 DO は瀬戸内海全域で 6 mg l⁻¹ を越えており、貧酸素水塊は認められなかった。5 月になると大阪湾の最奥部で底層 DO が 4 mg l⁻¹ を下回る海域がみられ、7 月になると底層 DO が 4 mg l⁻¹ を下回る海域が大阪湾奥部全体に広がり、年によっては播磨灘、広島湾奥部や周防灘の一部海域にも確認された。10 月になっても大阪湾の奥部には底層 DO が 4 mg l⁻¹ を下回る水塊が分布していた。一方、その他の海域では 1 月、5 月、7 月および 10 月において低酸素水塊の発生は認められなかった。

3. 7. 大阪湾と播磨灘における底層水温と底層 DO の関係

大阪湾の 20 測点における底層水温と底層 DO の関係を Fig. 16 に示した（浅海定線調査の 2010～2014 年のデータを使用。3 ヶ月に 1 度測定されたもの）。全ての地点で両者の間には有意な負の相関がみられ、回帰直線の傾き（全地点の平均±SD）は $0.287 \pm 0.063 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1} \text{ 水温}^{-1}$ であり、傾きの範囲は 0.222～0.395 mg O₂ l⁻¹ 水温⁻¹ にあった。播磨灘の 19 測点における底層水温と底層 DO の関係についても（Fig. 17：浅海定線調査の 2010～2014 年のデータを使用。毎月測定されたもの）、全ての地点で両者の間には有意な負の相関がみられ、回帰直線の傾きは $0.256 \pm 0.039 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1} \text{ 水温}^{-1}$ 、傾きの範囲は 0.204～0.342 mg O₂ l⁻¹ 水温⁻¹ にあった。

塩分を 30 と仮定して算出した飽和溶存酸素濃度（図中の赤点線）と、実際に測定された底層 DO 濃度を比べてみると、水温の低い時期には底層 DO がほぼ飽和溶存酸素濃度に等しかったが、高水温期になると多くの地点で飽和溶存酸素濃度を下回る結果となっていた。算出した飽和溶存酸素濃度（図中の赤点線）と、実際に測定された底層 DO 濃度と温度との線形回帰式（図中の実線）がほぼ重なっている場合、その地点における夏場の底層 DO 低下は、水温上昇に伴う飽和溶存酸素濃度で説明することが出来る。一方、両者が大きく離れている場合（赤点線>>実線）には、水温上昇に伴う酸素消費速度の上昇や成層の強化によって DO の低下が生じていることを示している。

3. 8. 各湾灘における 1 月、5 月、7 月および 10 月のクロロフィル *a* 濃度の経年変化

各湾灘における、1980 年代～2010 年代までの表層・底層クロロフィル *a* 濃度の経年変動を Fig. 18a～18h に示した。1 月の表層・底層クロロフィル *a* 濃度については、播磨灘、備讃瀬戸、備後灘では表層・底層のいずれにおいても有意な正の経年変動がみられた。一方、大阪湾（表層のみ）及び周防灘では有意な負の経年変動がみられ

た。その他の海域では有意な経年変動は検出されなかった。5月については、備讃瀬戸の底層で有意な正の経年変動がみられた一方、紀伊水道、大阪湾の表層、燧灘、安芸灘の底層、伊予灘、周防灘、響灘の底層および豊後水道ではいずれも有意な負の経年変動がみられた。5月において有意な経年変化が検出されなかったのは播磨灘、備後灘および広島湾であった。7月については、播磨灘の表層で有意な正の経年変動がみられた一方、大阪湾、燧灘の底層、安芸灘、広島湾の底層、伊予灘、周防灘および豊後水道の底層ではいずれも有意な負の経年変動がみられた。有意な経年変化が検出されなかったのは、紀伊水道、備讃瀬戸、備後灘および響灘であった。10月においては、播磨灘の表層のみで有意な正の経年変動がみられ、大阪湾、燧灘の底層、安芸灘の底層、広島湾、伊予灘、周防灘および豊後水道の底層ではいずれも有意な負の経年変動がみられた。また、7月と同様に、紀伊水道、備讃瀬戸、備後灘および響灘では有意な経年変動は検出されなかった。

解析の結果、瀬戸内海では1月の播磨灘、備讃瀬戸および備後灘でクロロフィル *a* 濃度が増加傾向にあること、5月には備讃瀬戸の底層、7月と10月にはいずれも播磨灘の表層でクロロフィル *a* 濃度が増加傾向にあることがわかった。その他の湾灘では減少傾向もしくは有意な変動がみられなかったことから、播磨灘や備讃瀬戸周辺海域に限定してクロロフィル *a* 濃度の上昇がみられていたことは非常に興味深い。このような、長期的なクロロフィル *a* 濃度の変動は海域生態系における生産性の変化、動物プランクトンや底生動物にとっての餌料環境の変化を示唆しており、生態系に対してどのような影響をおよぼしているかについての検討が必要と考えられる。

3. 9. 瀬戸内海における1月、5月、7月および10月の表層・底層クロロフィル *a* の空間分布

瀬戸内海における1月、5月、7月および10月の表層・底層クロロフィル *a* の空間分布を Fig. 19～22 に示した。結果は、1982～1985年、1992～1995年、2002～2005年、2010～2011年および2013～2014年の期間について示した。いずれの月においても、表層クロロフィル *a* 濃度は大阪湾、播磨灘北部、備讃瀬戸、燧灘、広島湾、周防灘などで高かった。底層クロロフィル *a* も同様の空間分布であったが、7月の大阪湾では底層で低い値を示すなど、季節によって異なる傾向を示す海域もみられた。

4. 摘要

(1) 2010～2014年の5年間における湾灘毎の平均底層水温を算出したところ、1月底層水温（海域平均値）は播磨灘と備讃瀬戸で低く、黒潮の影響が強い紀伊水道や豊後水道で高かった。年間最高底層水温は播磨灘と備讃瀬戸で高く（ $> 26.7^{\circ}\text{C}$ ）、水深のある伊予灘で低かった（ 22.6°C ）。10月底層水温は空間的な変動は小さかったが、播磨灘以東海域でわずかに高い傾向を示した。豊後水道や紀伊水道周辺において、冬期の高水温域と高塩分水塊の空間分布および夏期の低水温域と高塩分水塊の空間分布はそれぞれ良く対応しており、黒潮の入り込みが瀬戸内海の底層水温分布を決定する要因として重要と考えられた。1980年代以降の底層水温データを用いた解析の結果、ほとんどの湾灘で経年的に有意な底層水温の上昇が認められた。1月、5月、7月、10月および年間最低・最高底層水温における経年的な上昇速度を比較すると、その速度は10月の底層水温が最大であり（全海域平均： $+5.82^{\circ}\text{C } 100\text{-yr}^{-1}$ ）、夏～秋の高水温化が広域で生じていることがわかった。

(2) 1980年代以降の底層 DO データを用いて1月、5月、7月および10月における空間分布図を作成したところ、1月の底層 DO は瀬戸内海全域で 6 mg l^{-1} を越えており、海産生物に負の影響をおよぼす低酸素水塊（ $6.0\sim 4.0 \text{ mg l}^{-1}$ ；海産生物の成長に負の影響、 $4.0\sim 2.0 \text{ mg l}^{-1}$ ；海産生物の代謝過程に負の影響、

2.0～0.5 mg l⁻¹；海産生物の死亡、Gray et al.2002) は認められなかった。5月になると大阪湾の最奥部で底層 DO が 4 mg l⁻¹ を下回る海域がみられ、7月になると底層 DO が 4 mg l⁻¹ を下回る海域が大阪湾奥部全体でみられ、年によっては広島湾奥部や周防灘の一部海域にも確認された。10月になっても大阪湾の奥部には底層 DO が 4 mg l⁻¹ を下回る水塊が分布していた。一方、その他の海域では1月、5月、7月および10月において低酸素水塊の発生は認められなかった。経年解析の結果、7月の底層 DO は播磨灘、備讃瀬戸、燧灘、伊予灘および周防灘で有意な経年上昇を示していた。一方、10月の底層 DO については、紀伊水道と大阪湾で有意な経年低下が検出された（傾き：0.0138 及び 0.0363 mg O₂ l⁻¹ 年⁻¹）。紀伊水道と大阪湾における10月の底層 DO 低下は、水温上昇に伴う飽和溶存酸素濃度の低下だけでは説明できず、底泥表面や水柱における酸素消費速度の増大や、成層の強化といった要因が寄与している可能性が考えられた。なお、貧酸素水塊の発生要因となる沈降有機物負荷量について、水柱の植物プランクトン量（クロロフィル *a* 濃度）に関する解析を行ったところ、紀伊水道では1981年～2014年の34年間に有意な経年変動がみられず、大阪湾では表層水・底層水ともにクロロフィル *a* 濃度は低下傾向にあった。

(3) 各湾灘における、1980年代～2010年代までの表層・底層クロロフィル *a* 濃度の経年変動を解析したところ、1月においては播磨灘、備讃瀬戸、備後灘の表層・底層のいずれにおいても有意な増加傾向がみられた。一方、大阪湾の表層と周防灘では有意な減少傾向がみられた。5月については、備讃瀬戸の底層で有意な増加傾向がみられた一方、紀伊水道、大阪湾の表層、燧灘、安芸灘の底層、伊予灘、周防灘、響灘の底層および豊後水道では減少傾向がみられた。7月については、播磨灘の表層で増加傾向がみられた一方、大阪湾、燧灘の底層、安芸灘、広島湾の底層、伊予灘、周防灘および豊後水道の底層ではいずれも減少傾向がみられた。10月においては播磨灘の表層で増加傾向がみられ、大阪湾、燧灘の底層、安芸灘の底層、広島湾、伊予灘、周防灘および豊後水道の底層では減少傾向がみられた。以上の結果から、瀬戸内海では水柱のクロロフィル *a* 濃度が低下傾向にある海域が多いものの、いずれの時期においても、播磨灘や備讃瀬戸周辺海域に限定してクロロフィル *a* 濃度の経年的な上昇傾向がみられていた。

謝辞

本報文は、平成28年度～平成30年度に実施された環境省「閉鎖性海域における気候変動による影響把握等検討業務」および令和元年度～令和3年度に実施された環境省「閉鎖性海域における気候変動による影響評価及び適応策等検討業務」において実施された解析結果を含んでいる。解析用データの取得・整理にご助力頂いた、環境省水・大気環境局水環境課閉鎖性海域対策室、和歌山県、大阪府、兵庫県、岡山県、広島県、山口県、福岡県、大分県、徳島県、香川県、愛媛県および(株)いであの関係各位に心より感謝申し上げます。Rを用いた作図法については、熊谷直喜氏にご教示いただいた。感謝申し上げます。

5. 引用文献

- Birchough SN, Reiss H, Degraer S, Mieszkowska N, Borja Á, et al. (2015) Climate change and marine benthos: a review of existing research and future directions in the North Atlantic. *WIREs Clim Change* 6: 203–223
- Blois JL, Zarnetske PL, Fitzpatrick MC, Finnegan S (2013) Climate change and the past, present, and future of biotic interactions. *Science* 341: 499–504
- Doney SC, Ruckelshaus M, Duffy JE, Barry JP, Chan F, et al. (2012) Climate change impacts on marine ecosystems. *Ann Rev Mar Sci* 4: 11–37
- Dolbeth M, Cardoso PG, Grilo TF, Bordalo MD, Raffaelli D, et al. (2011) Long-term changes in the production by estuarine macrobenthos affected by multiple stressors. *Estuar Coast Shelf Sci* 92: 10–18

- Gray JS, Wu RS, Or YY (2002) Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. *Mar Ecol Prog Ser* 238: 249–279
- Hale R, Calosi P, McNeill L, Mieszkowska N, Widdicombe S (2011) Predicted levels of future ocean acidification and temperature rise could alter community structure and biodiversity in marine benthic communities. *Oikos* 120: 661–674
- Harley CDG (2011) Climate change, keystone predation, and biodiversity loss. *Science* 334: 1124–1127
- Henderson PA, Seaby RMH, Somes JR (2011) Community level response to climate change: the long-term study of the fish and crustacean community of the Bristol Channel. *J Exp Mar Bio Ecol* 400: 78–89
- Hiddink JG, Burrows MT, García Molinos J (2015) Temperature tracking by North Sea benthic invertebrates in response to climate change. *Glob Chang Biol* 21: 117–129
- Hoegh-Guldberg O, Bruno JFF (2010) The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science* 328: 1523–1528
- IPCC (2001) IPCC 地球温暖化第3次レポート 気候変化 2001. 気象庁・環境省・経済産業省監修 289 pp.
- 気象庁 (2008) 地球温暖化予測情報第7巻. 59 pp.
<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/Vol7/pdf/synthesis.pdf>
- Kröncke I, Reiss H, Eggleton JD, Aldridge J, Bergman MJN, et al. (2011) Changes in North Sea macrofauna communities and species distribution between 1986 and 2000. *Estuar Coast Shelf Sci* 94: 1–15
- Lejeune C, Chevaldonné P, Pergent-Martini C, Boudouresque CF, Pérez T (2010) Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. *Trends Ecol Evol* 25: 250–260
- Lewandowska A, Sommer U (2010) Climate change and the spring bloom: a mesocosm study on the influence of light and temperature on phytoplankton and mesozooplankton. *Mar Ecol Prog Ser* 405: 101–111
- 丸茂恵右、横田瑞郎 (2012) 貧酸素水塊の形成及び貧酸素の生物影響に関する文献調査. *海生研研報* 15: 1–21
- Murphy RR, Kemp WM, Ball WP (2011) Long-term trends in Chesapeake Bay seasonal hypoxia, stratification, and nutrient loading. *Estuaries and Coasts* 34: 1293–1309
- Rousi H, Laine AO, Peltonen H, Kangas P, Andersin AB, et al. (2013) Long-term changes in coastal zoobenthos in the northern Baltic Sea: the role of abiotic environmental factors. *ICES J Mar Sci* 70: 440–451
- Wohlers J, Engel A, Zöllner E, Breithaupt P, Jürgens K, et al. (2009) Changes in biogenic carbon flow in response to sea surface warming. *PNAS* 106: 7067–7072

6. 図表

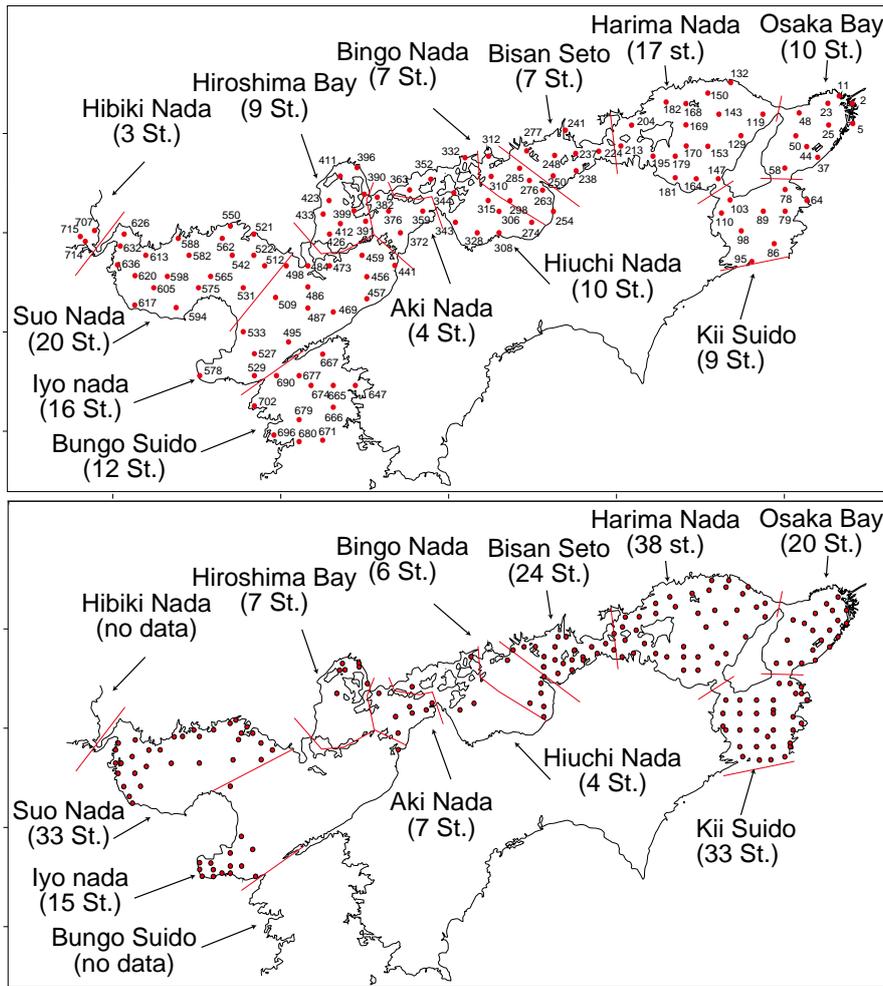


Fig. 1. Locations at which water quality was measured. Top: Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey (Ministry of the Environment). Bottom: Senkai Teisen Chosa survey (Fisheries Agency of Japan and offices of prefectures bordering the Seto Inland Sea).

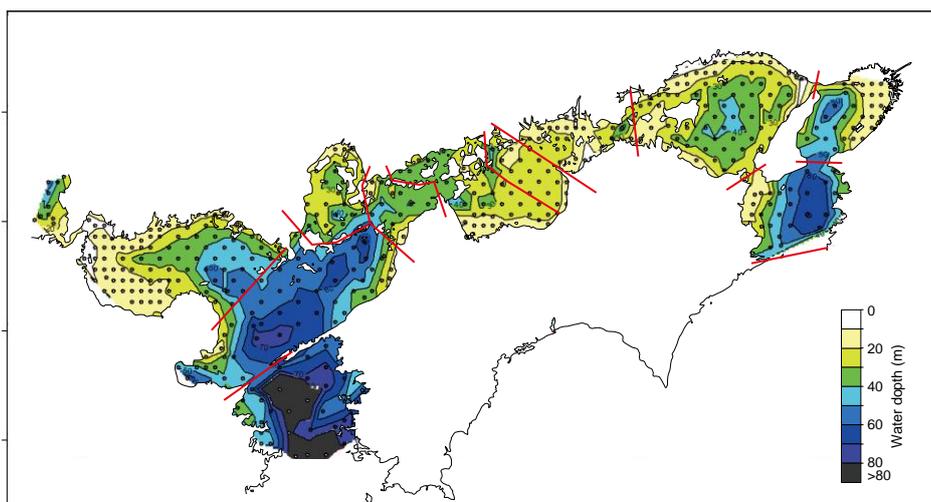


Fig. 2. Distribution of water depth in the Seto Inland Sea. The contour map was created using the water depth data at 425 stations (circles) during the second Setonaikai Kankyo Joho Kihon Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment during the 1990s.

Table 1. Mean bottom water temperature in January, May, July, and October in the Seto Inland Sea from 2010 to 2014. The mean annual minimum (ann. min.) and maximum (ann. max.) values are also shown.

Area name	Mean bottom water temperature (°C)				ann. min. ^b	ann. max. ^b
	Jan. ^a	May ^a	Jul. ^a	Oct. ^a		
Kii Suido 紀伊水道	12.6	16.6	20.1	24.3	11.5	25.9
Osaka Bay 大阪湾	10.9	15.0	21.7	25.2	9.2	25.9
Harima Nada 播磨灘	10.0	15.2	21.9	24.0	7.3	26.7
Bisan Seto 備讃瀬戸	9.4	16.6	23.3	23.8	7.8	27.5
Bingo Nada 備後灘	10.1	15.9	22.2	23.7	9.2	26.0
Hiuchi Nada 燧灘	11.3	15.6	22.0	23.6	10.4	26.0
Aki Nada 安芸灘	11.9	15.7	20.9	23.5	10.6	24.9
Hiroshima Bay 広島湾	12.1	15.0	19.7	23.8	10.5	24.3
Iyo Nada 伊予灘	12.4	15.0	20.4	23.1	10.5	22.6
Suo Nada 周防灘	9.7	15.3	21.0	22.6	8.8	26.1
Hibiki Nada 響灘	12.7	17.3	22.5	23.1	NA	NA
Bungo Suido 豊後水道	14.4	17.3	20.9	22.5	NA	NA
Overall mean	11.5	15.9	21.4	23.6	9.6	24.6

^a Data from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment, ^b Data from the Senkai Teisen Chosa survey conducted by the Fisheries Agency of Japan and offices of prefectures bordering the Seto Inland Sea. NA, no data available. The highest (lowest) and second highest (lowest) values for each occasion are shown in red (blue).

Table 2. Interannual changes in bottom water temperature in January, May, July, and October in the Seto Inland Sea from 1981 to 2015. Interannual changes in the annual minimum (ann. min.) and maximum (ann. max.) bottom water temperature are also shown.

Area name	Interannual changes in bottom water temperature* ($\Delta^{\circ}\text{C } 100\text{-yr}^{-1}$)					
	Jan. ^a	May ^a	Jul. ^a	Oct. ^a	ann. min. ^b	ann. max. ^b
Kii Suido 紀伊水道	4.40	2.89	-2.94	4.13	3.17	5.23
Osaka Bay 大阪湾	4.90	n.s.	2.00	9.25	2.79	3.39
Harima Nada 播磨灘	2.10	1.88	1.79	7.01	3.29	2.72
Bisan Seto 備讃瀬戸	1.49	n.s.	n.s.	6.17	3.67	2.86
Bingo Nada 備後灘	1.54	n.s.	n.s.	6.84	3.47	3.11
Hiuchi Nada 燧灘	2.07	3.08	2.54	4.73	2.39	3.92
Aki Nada 安芸灘	n.s.	3.59	2.52	4.25	2.63	4.07
Hiroshima Bay 広島湾	2.84	2.40	n.s.	6.05	1.76	3.18
Iyo Nada 伊予灘	1.33	1.97	1.63	3.83	3.44	2.05
Suo Nada 周防灘	3.59	n.s.	n.s.	6.40	3.14	2.65
Hibiki Nada 響灘	5.07	n.s.	n.s.	9.10	NA	NA
Bungo Suido 豊後水道	1.46	1.82	1.78	2.08	NA	NA
Overall mean 全湾灘平均	2.80	2.52	1.33	5.82	2.98	3.32

* Slope of the regression line (see Figs. 3a–f) between bottom water temperature and year, which were significantly correlated ($p < 0.05$, Pearson's correlation). n.s., not significant ($p > 0.05$). ^a Data from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment, ^b Data from the Senkai Teisen Chosa survey conducted by offices of prefectures bordering the Seto Inland Sea. NA, no data available. The highest and second highest values for each occasion are shown in bold red. Negative values are in bold blue.

Bottom water temperature in January

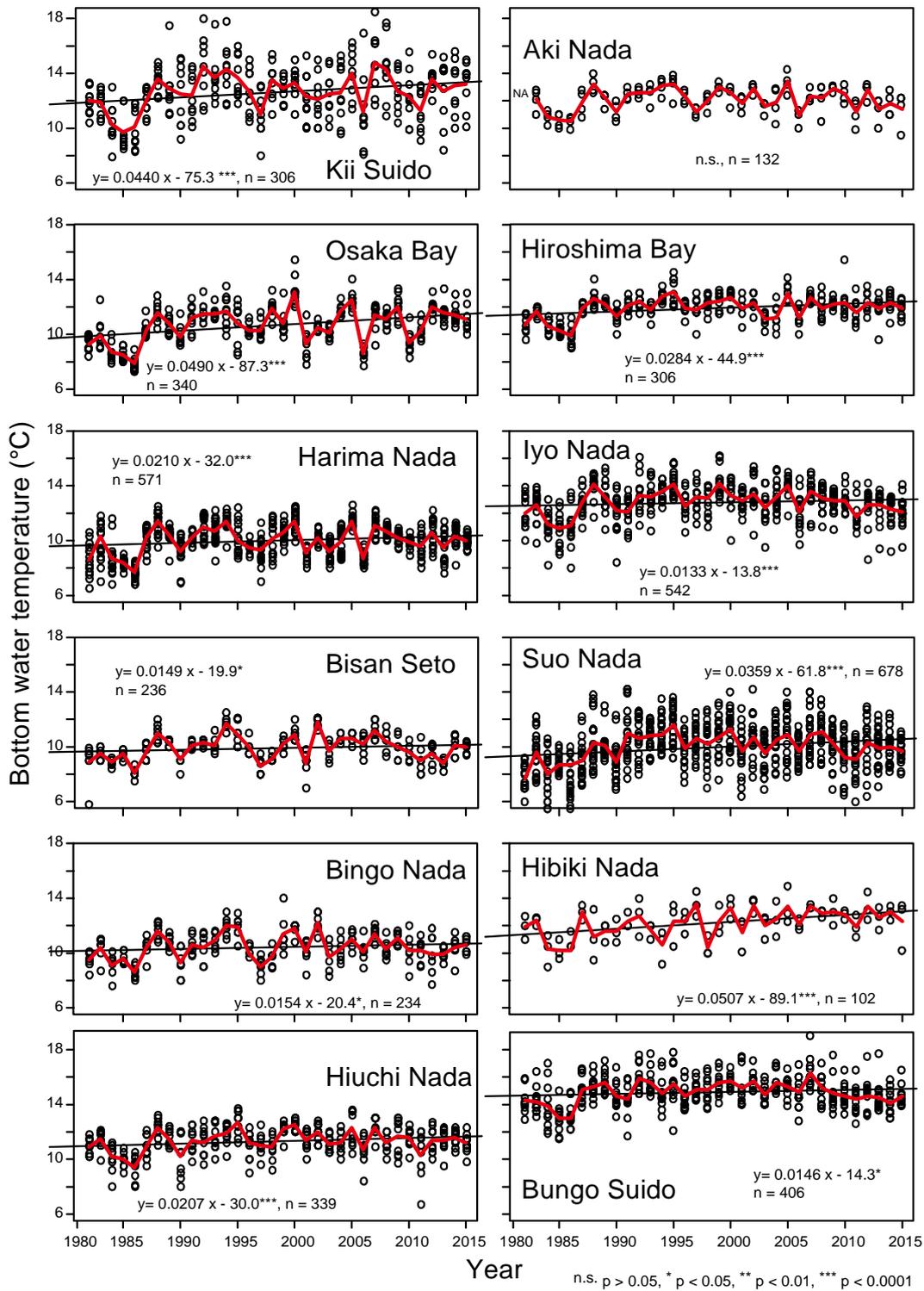


Fig. 3a. Long-term changes in bottom water temperature in January, in 12 areas of the Seto Inland Sea from 1982 to 2015. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment. The red line indicates the annual mean. The black line is the linear regression line, using year as an explanatory variable. P-values for the Pearson's correlation coefficients are denoted by asterisks.

Bottom water temperature in May

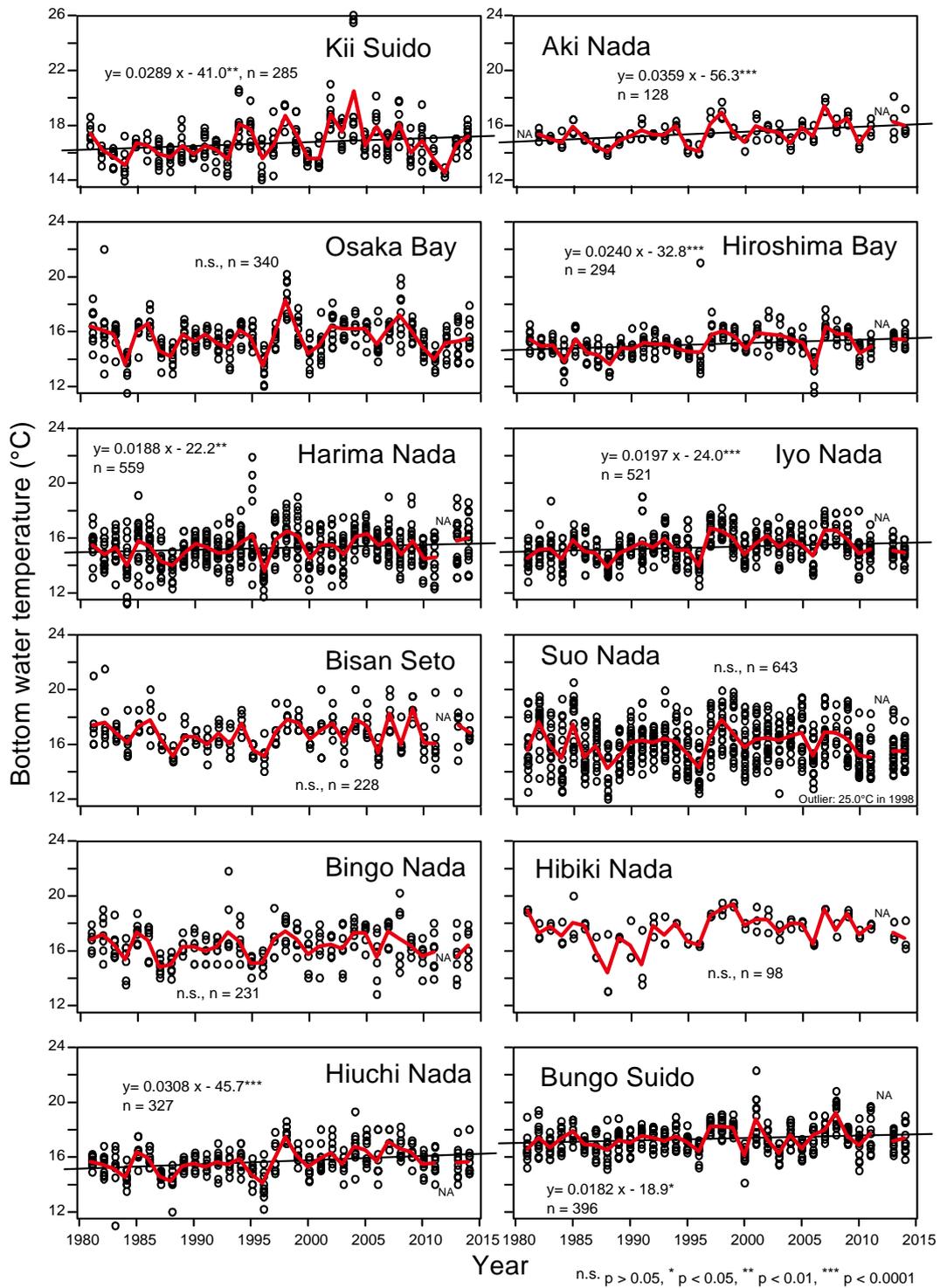


Fig. 3b. Long-term changes in bottom water temperature in May, in 12 areas of the Seto Inland Sea from 1981 to 2014. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment. The red line indicates the annual mean. The black line is the linear regression line, using year as an explanatory variable. *P*-values for the Pearson's correlation coefficients are denoted by asterisks.

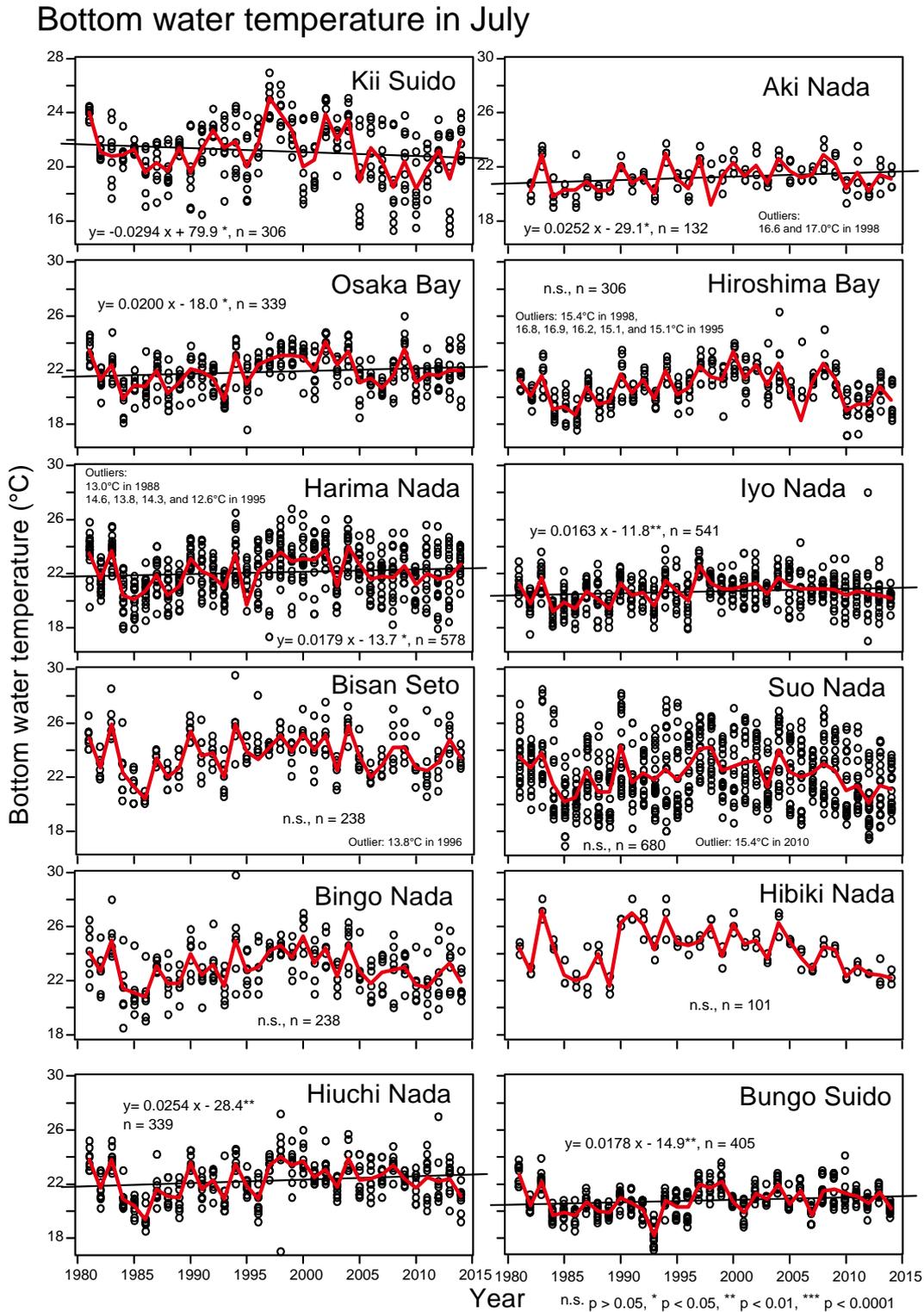


Fig. 3c. Long-term changes in bottom water temperature in July, in 12 areas of the Seto Inland Sea from 1981 to 2014. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment. The red line indicates the annual mean. The black line is the linear regression line, using year as an explanatory variable. *P*-values for the Pearson's correlation coefficients are denoted by asterisks.

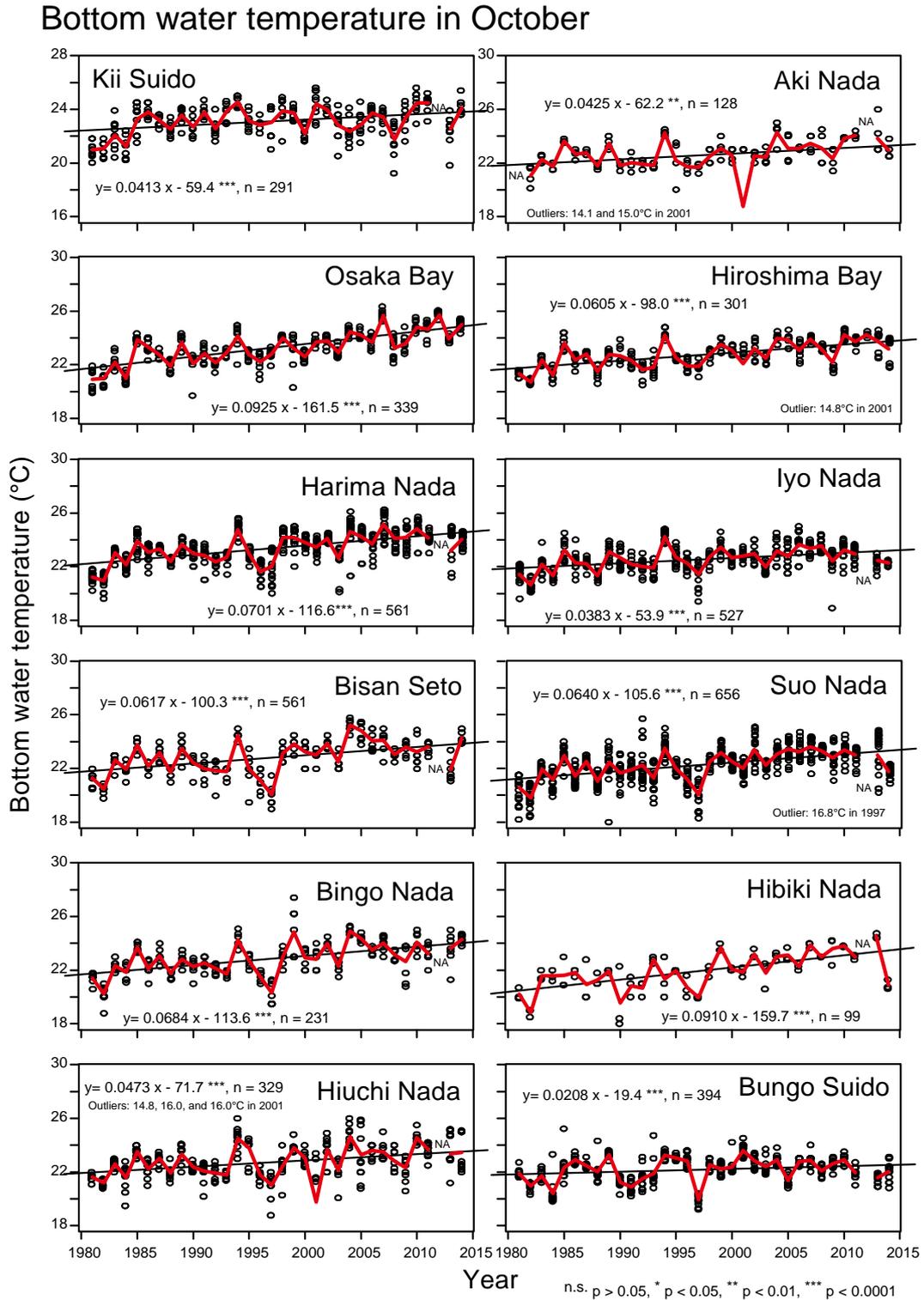


Fig. 3d. Long-term changes in bottom water temperature in October, in 12 areas of the Seto Inland Sea from 1981 to 2014. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment. The red line indicates the annual mean. The black line is the linear regression line, using year as an explanatory variable. *P*-values for the Pearson's correlation coefficients are denoted by asterisks.

Annual minimum bottom water temperature

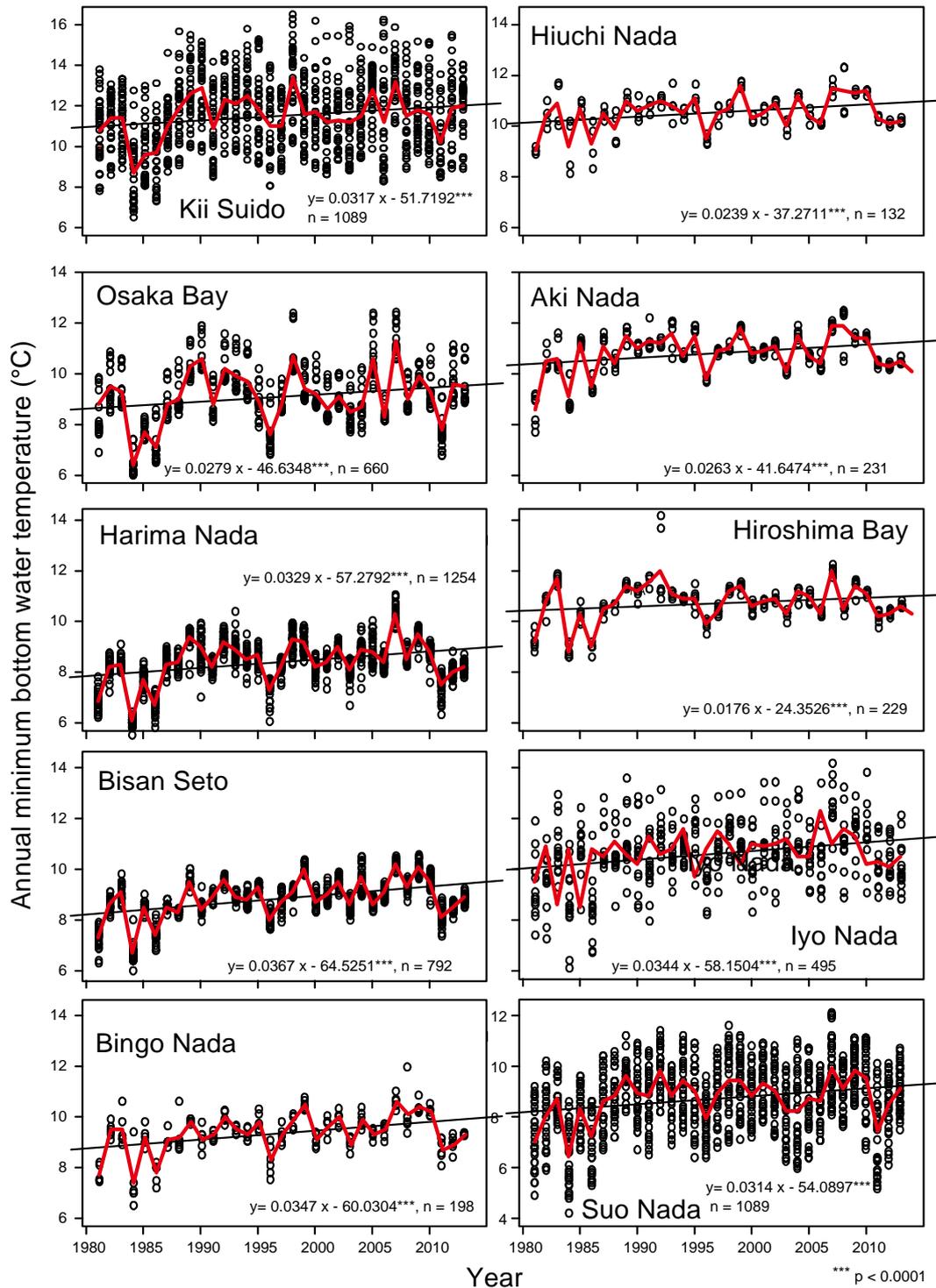


Fig. 3e. Long-term changes in annual minimum bottom water temperature, in 10 areas of the Seto Inland Sea from 1981 to 2014. Data from the Senkai Teisen Chosa survey conducted by the governments of prefectures bordering the Seto Inland Sea. The red line indicates the annual mean. The black line is the linear regression line, using year as an explanatory variable. *P*-values for the Pearson's correlation coefficients are denoted by asterisks.

Annual maximum bottom water temperature

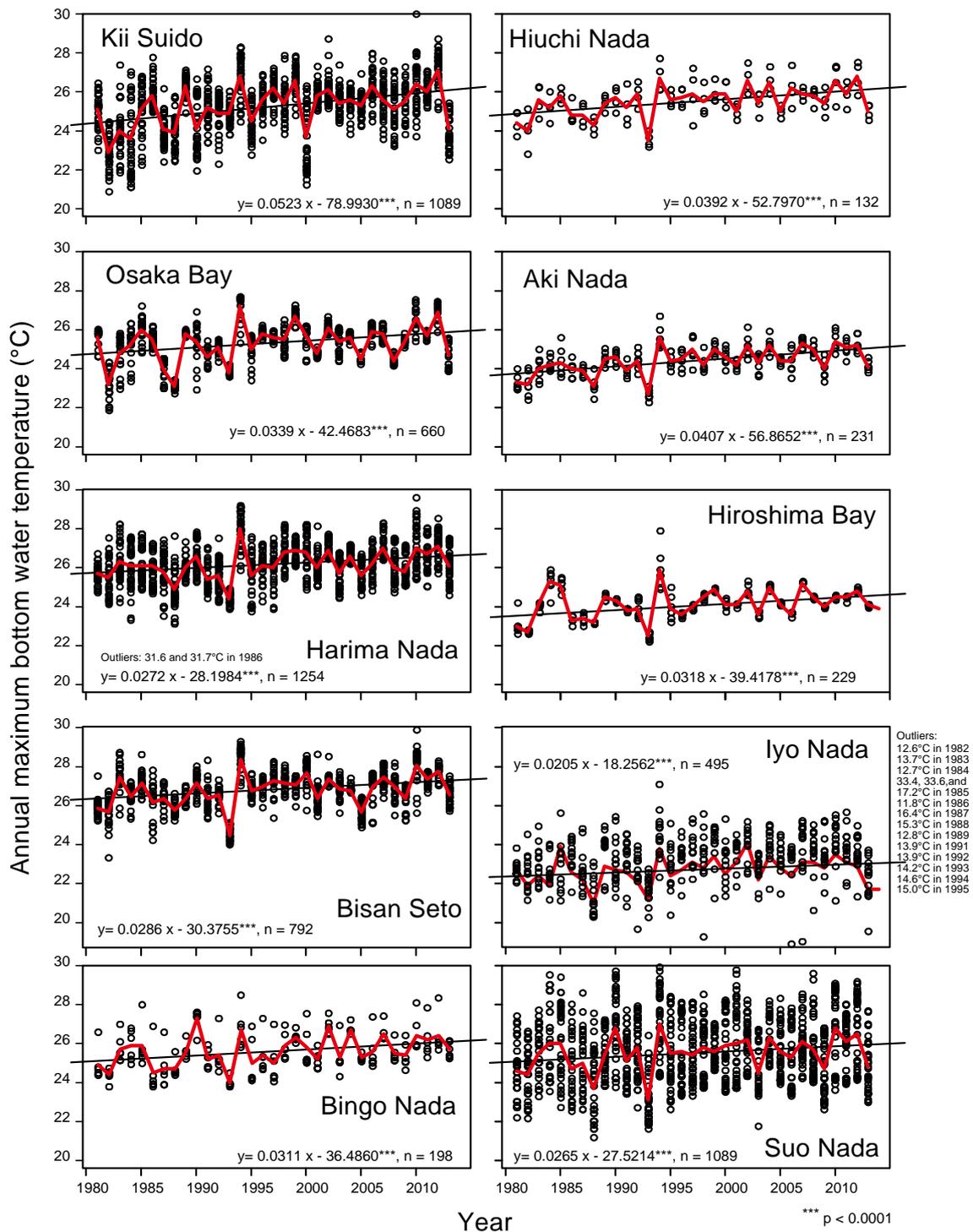


Fig. 3f. Long-term changes in annual maximum bottom water temperature, in 10 areas of the Seto Inland Sea from 1981 to 2014. Data from the Senkai Teisen Chosa survey conducted by the governments of prefectures bordering the Seto Inland Sea. The red line indicates the annual mean. The black line is the linear regression line, using year as an explanatory variable. P -values for the Pearson's correlation coefficients are denoted by asterisks.

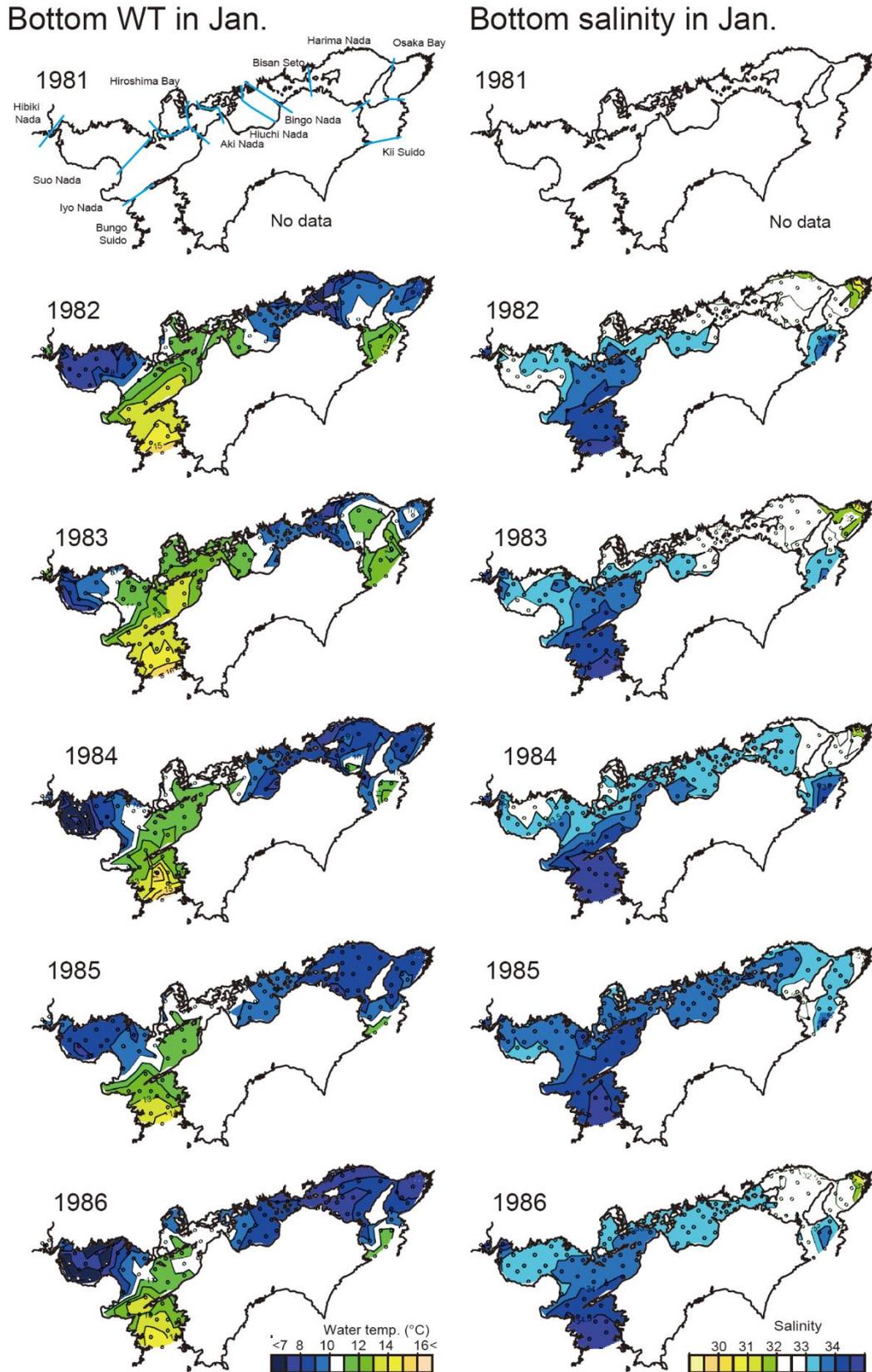


Fig. 4a. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in January in the Seto Inland Sea from 1982 to 1986. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

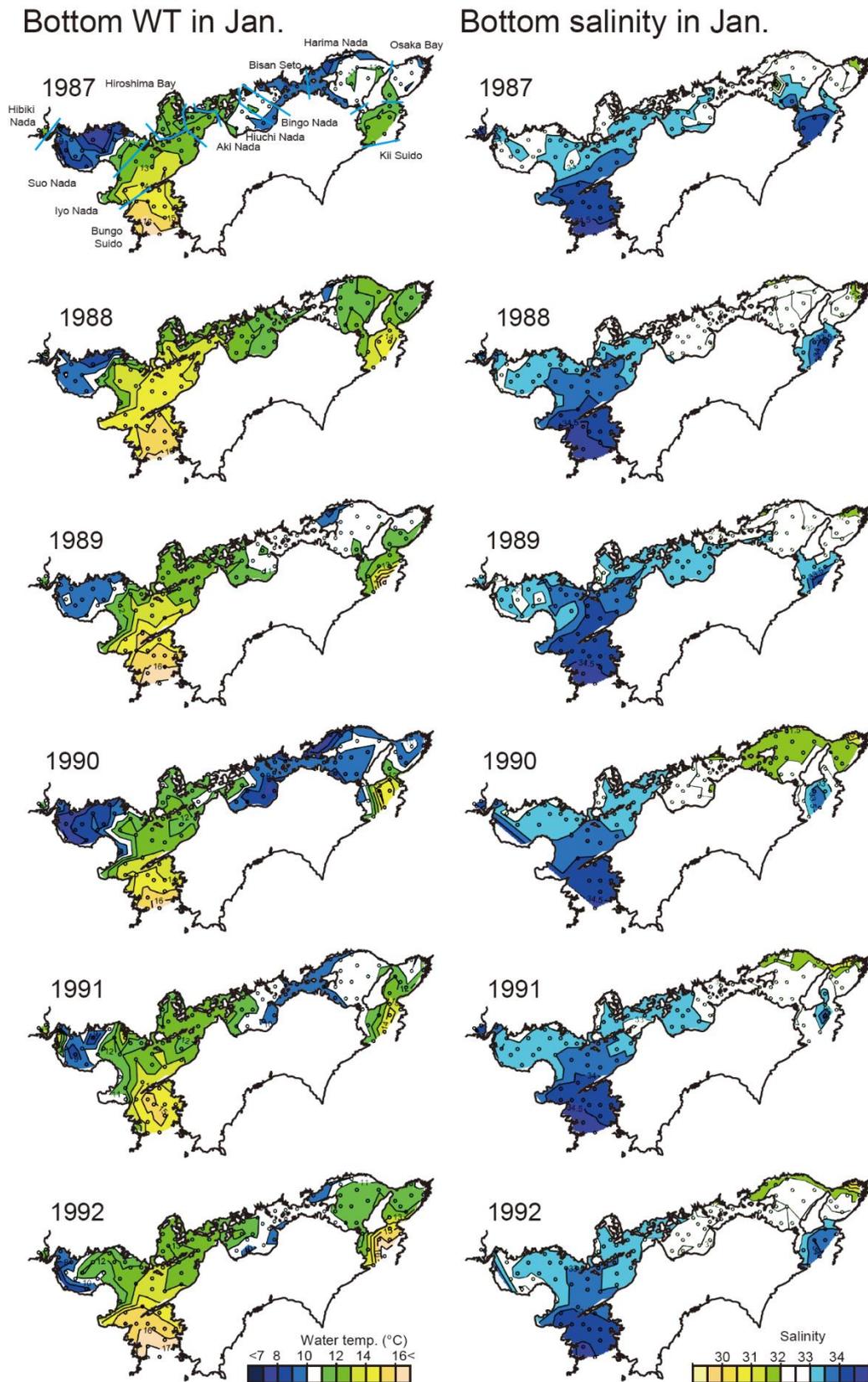


Fig. 4b. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in January in the Seto Inland Sea from 1987 to 1992. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

Bottom WT in Jan.

Bottom salinity in Jan.

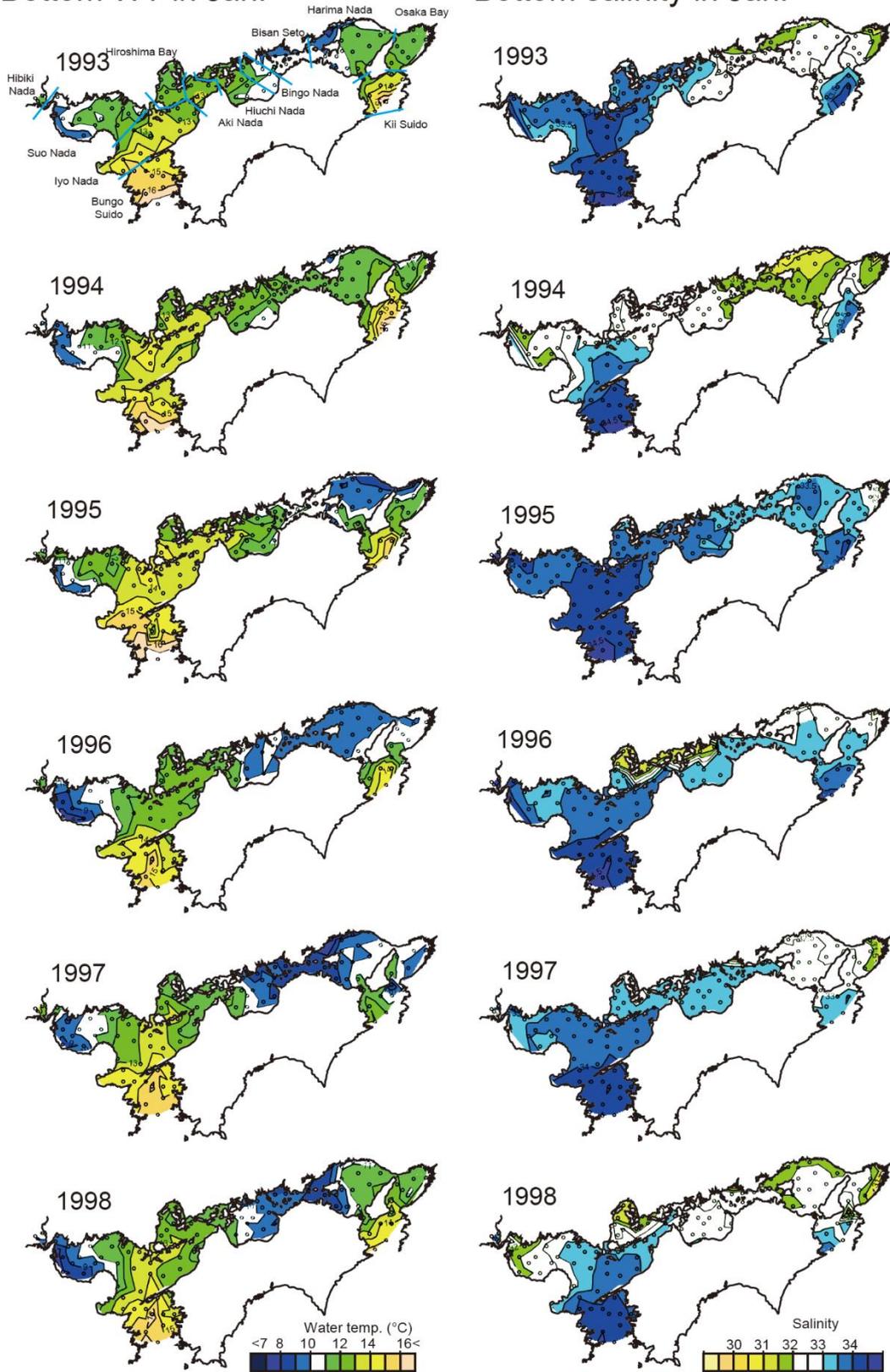


Fig. 4c. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in January in the Seto Inland Sea from 1993 to 1998. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

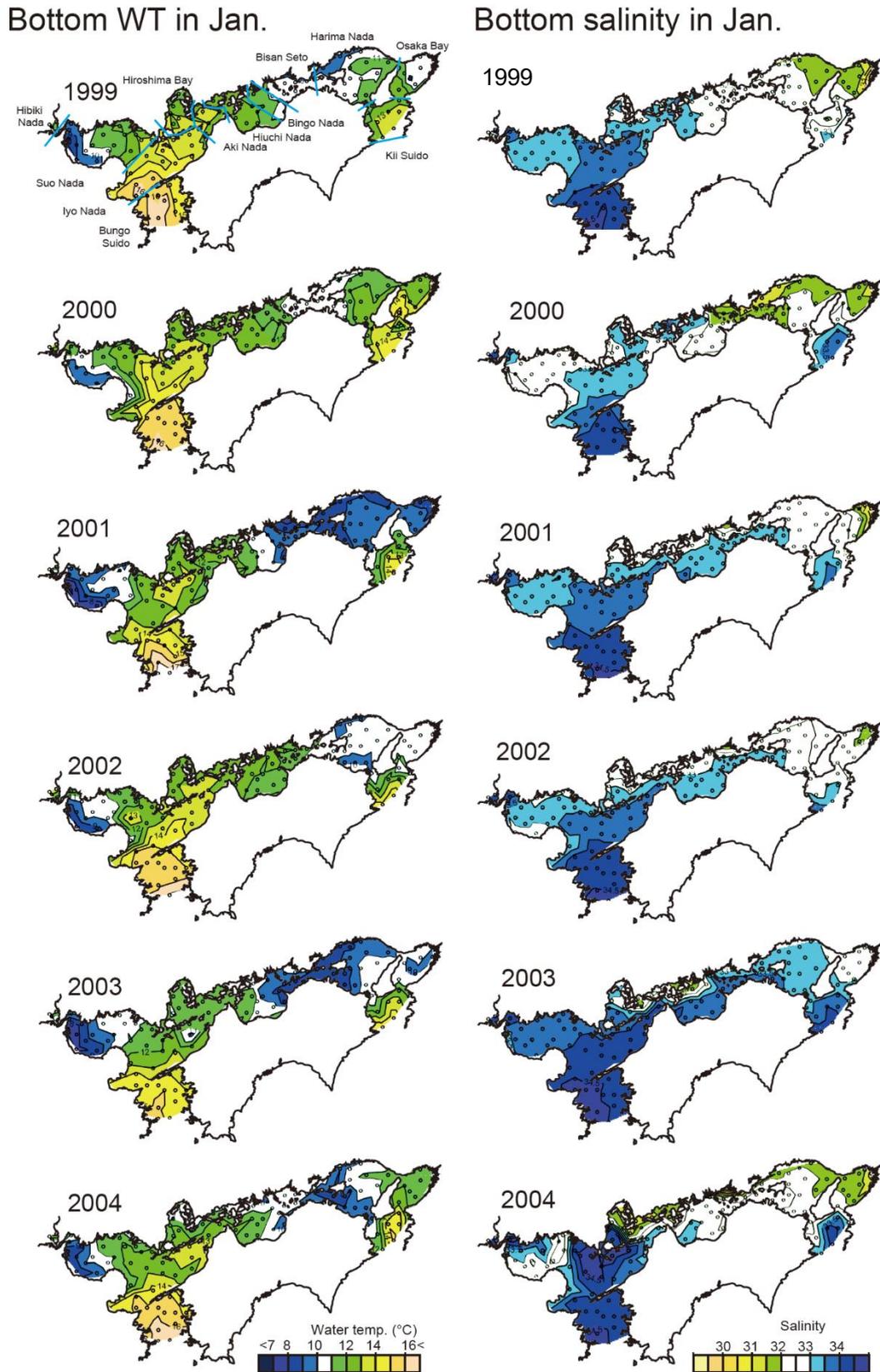


Fig. 4d. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in January in the Seto Inland Sea from 1999 to 2004. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

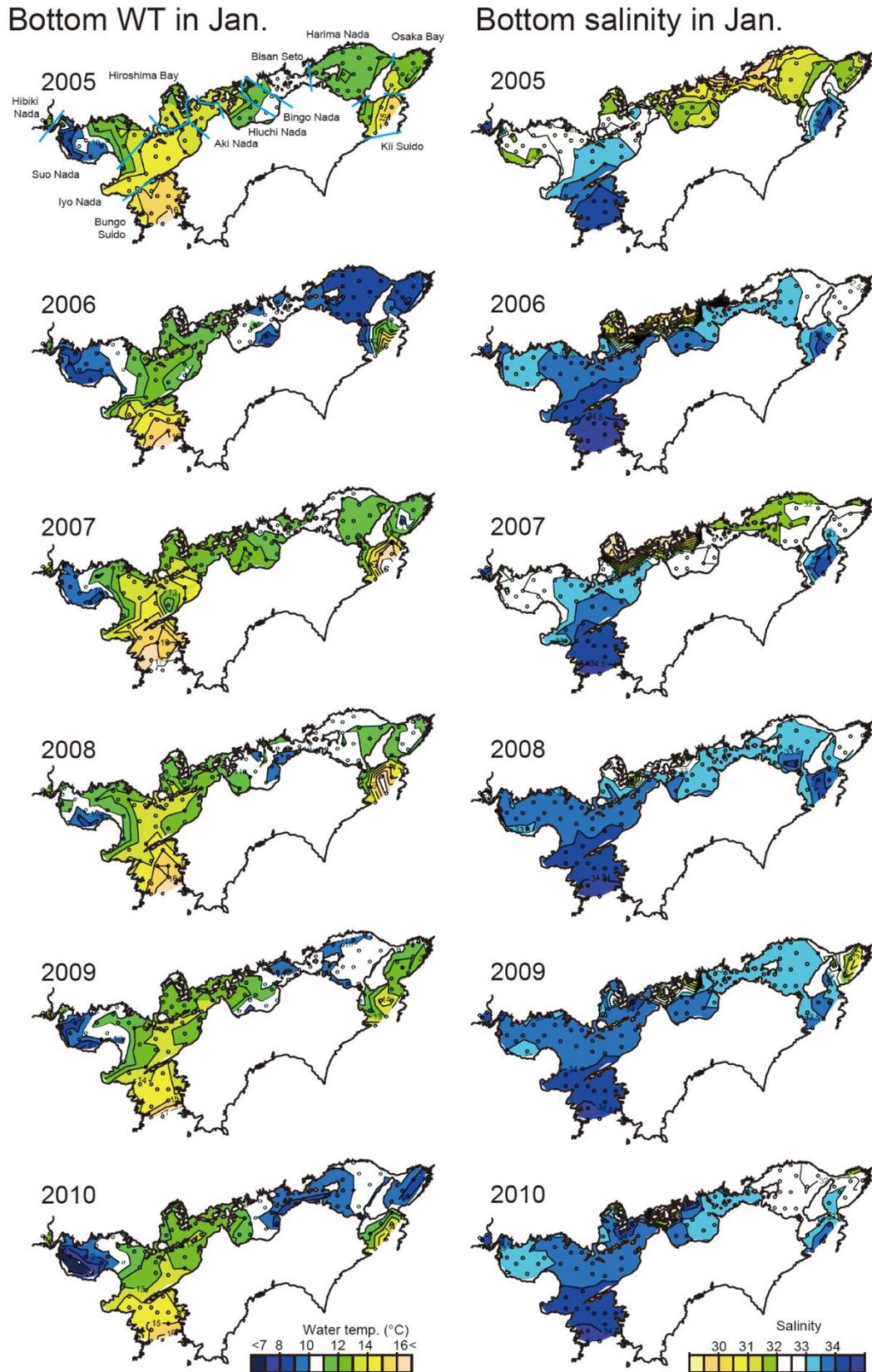


Fig. 4e. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in January in the Seto Inland Sea from 2005 to 2010. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

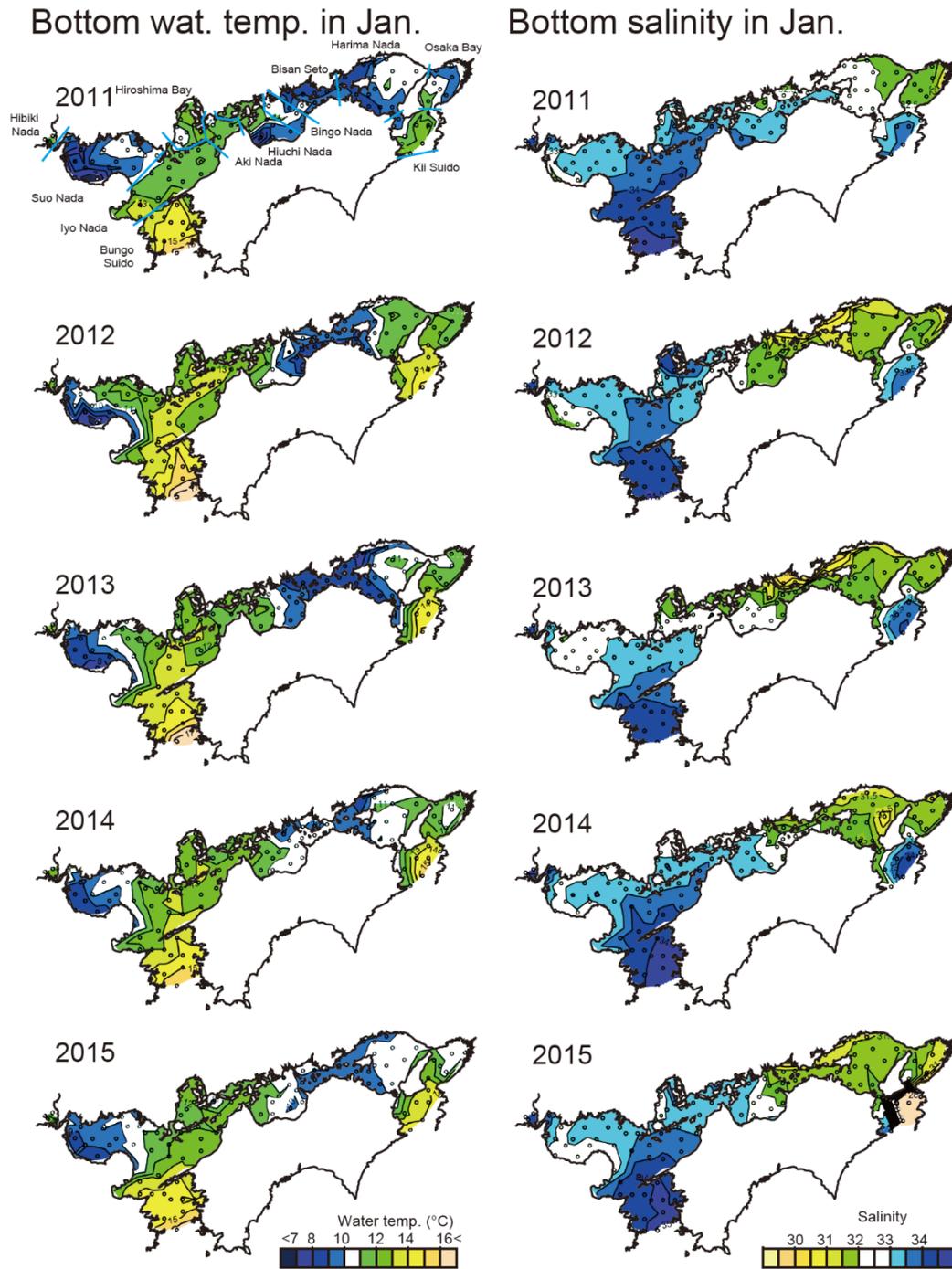


Fig. 4f. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in January in Seto Inland Sea from 2011 to 2015. Data were from Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey by Ministry of the Environments.

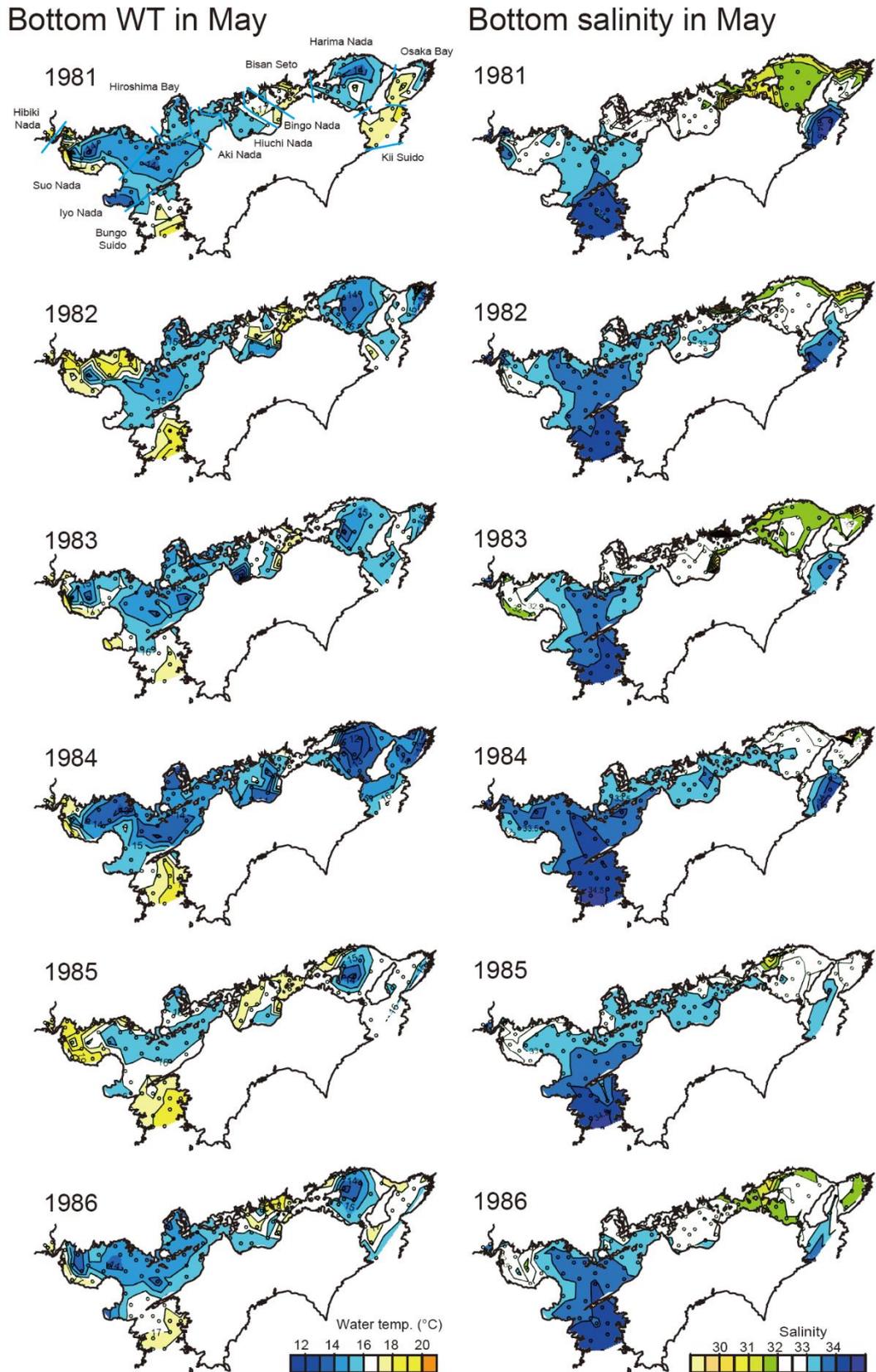


Fig. 5a. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in May in the Seto Inland Sea from 1982 to 1986. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

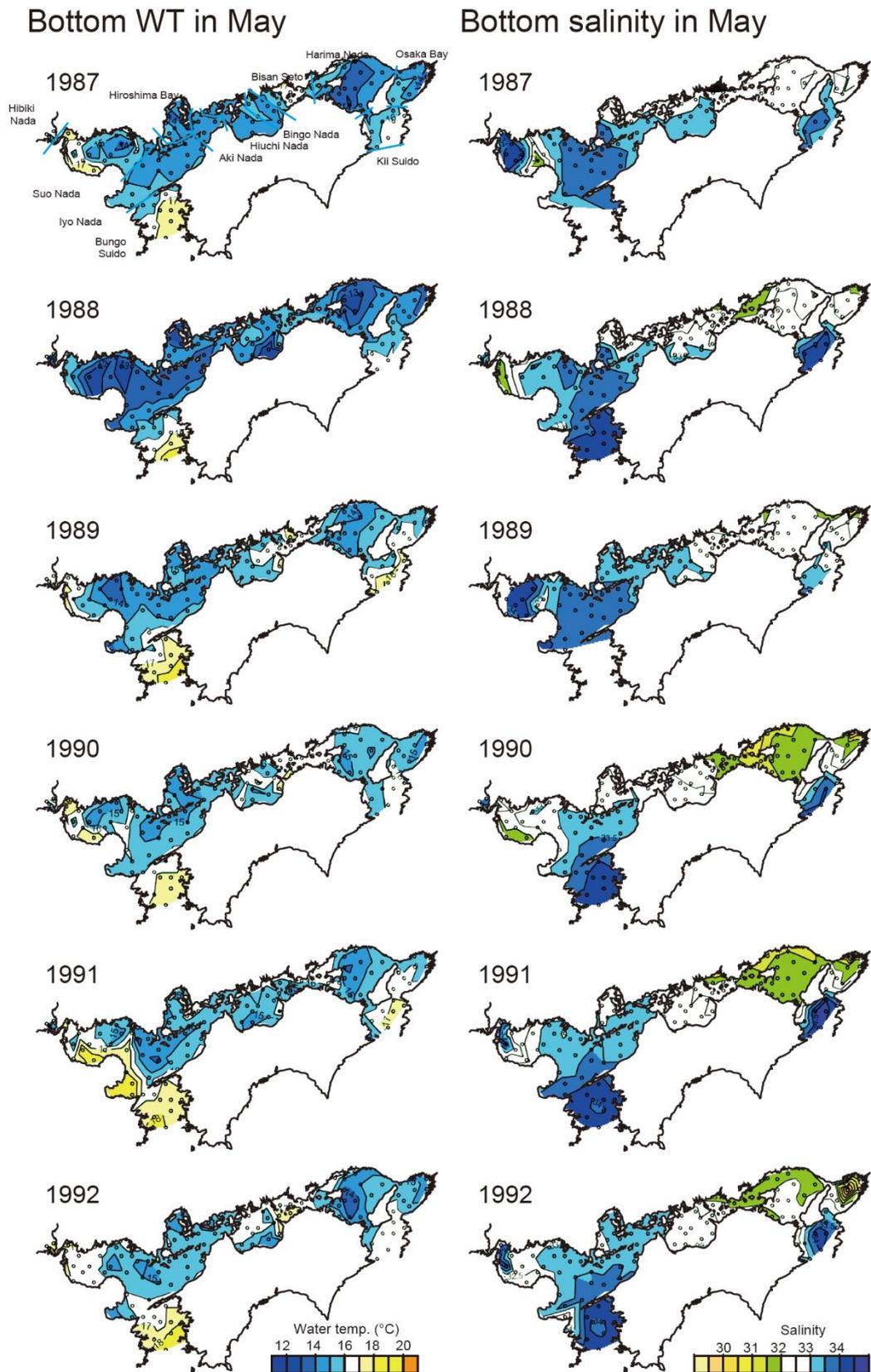


Fig. 5b. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in May in the Seto Inland Sea from 1987 to 1992. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

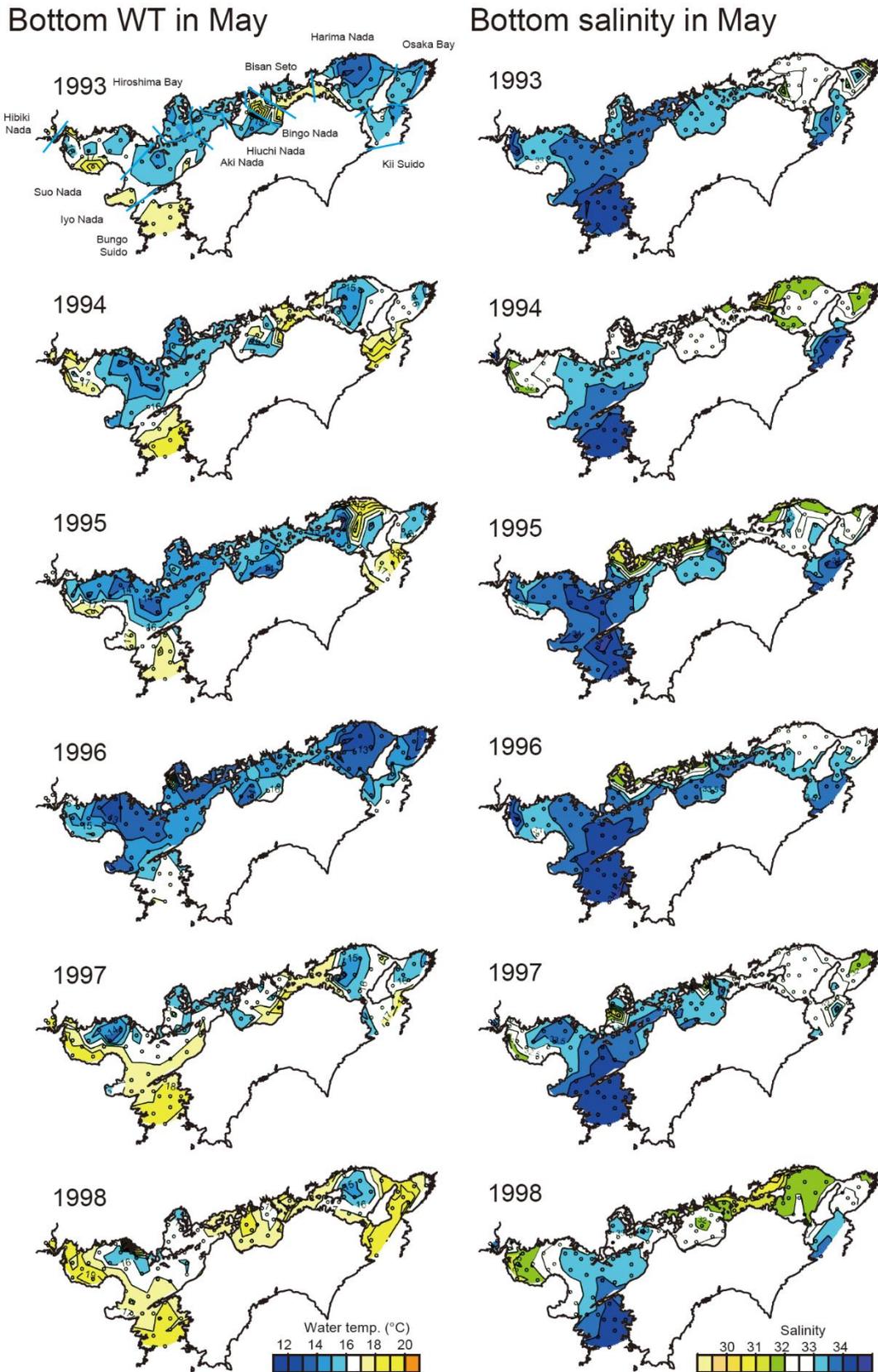
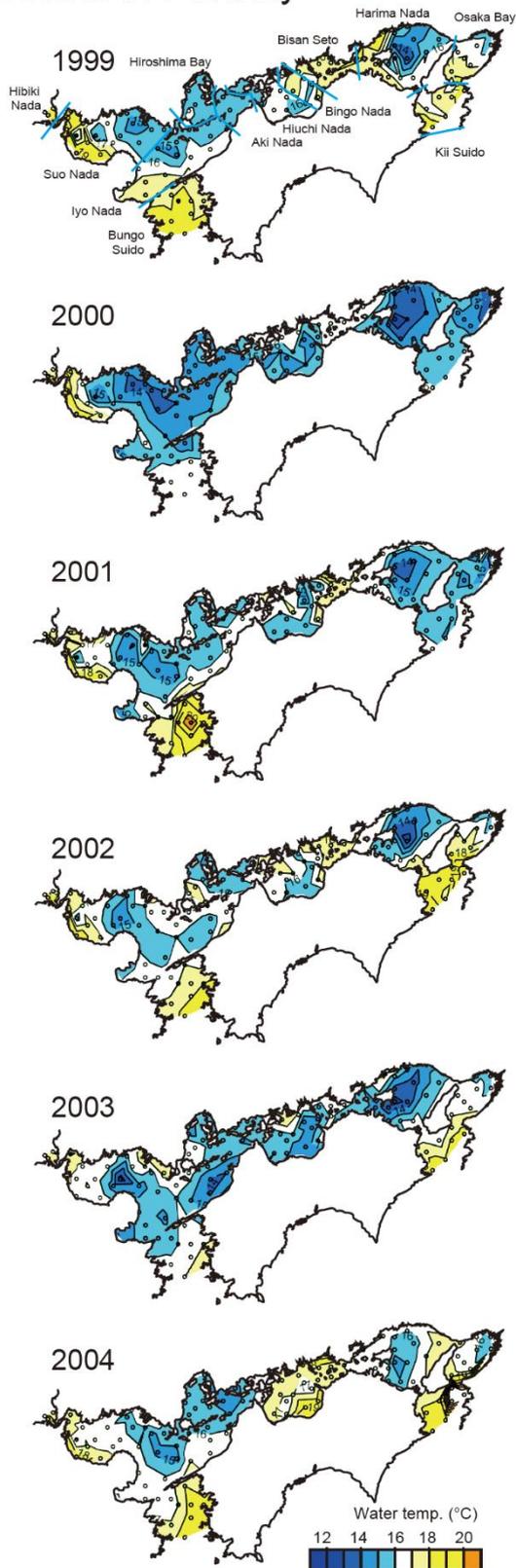


Fig. 5c. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in May in the Seto Inland Sea from 1993 to 1998. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

Bottom WT in May



Bottom salinity in May

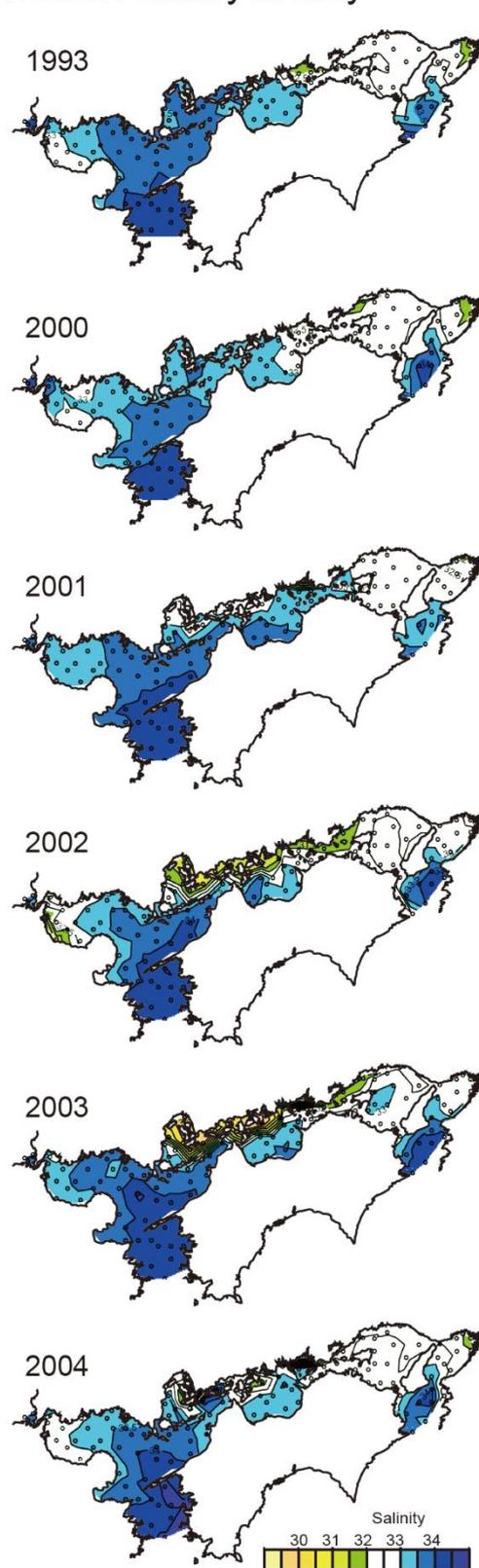


Fig. 5d. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in May in the Seto Inland Sea from 1999 to 2004. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

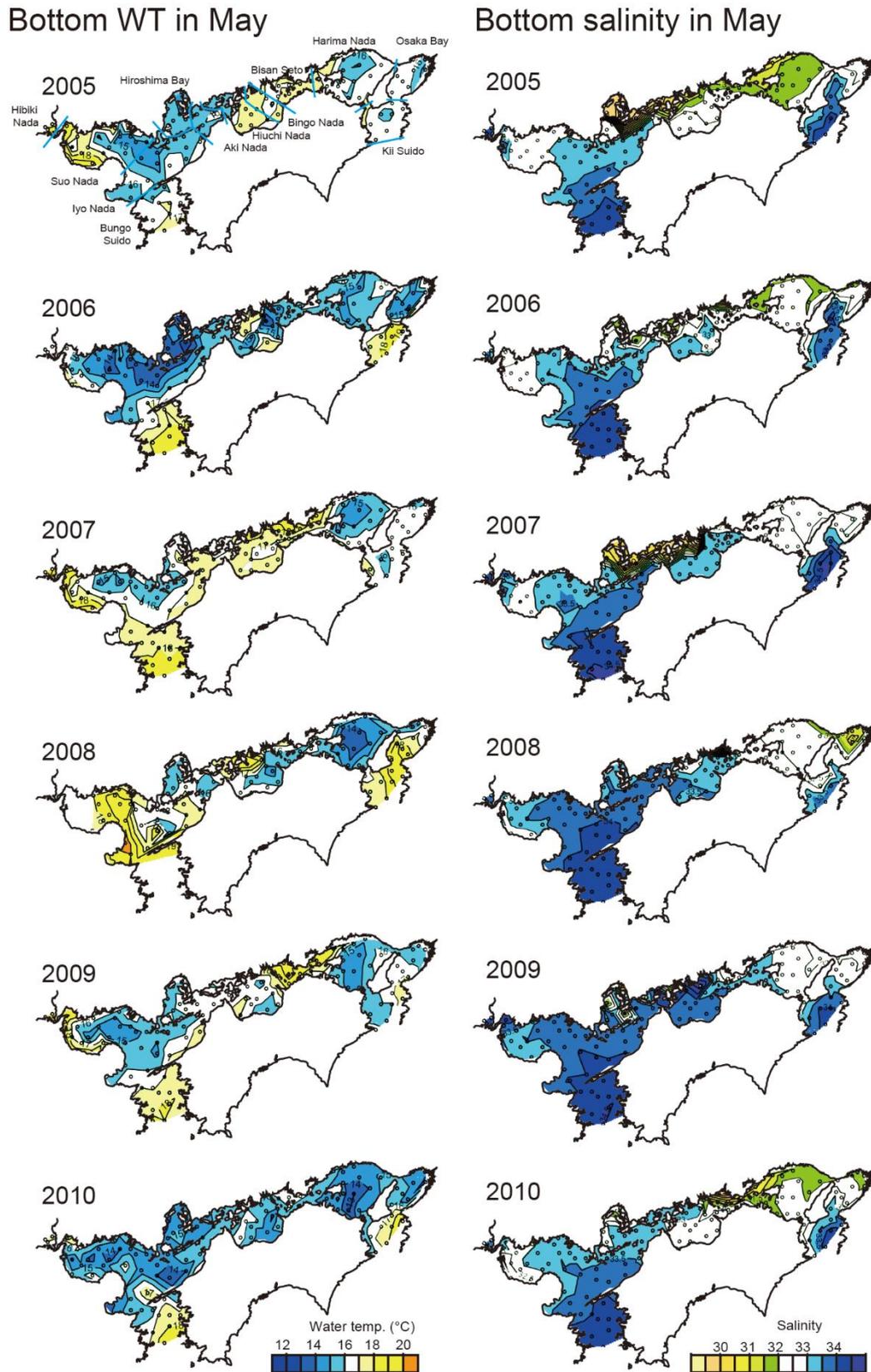


Fig. 5e. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in May in the Seto Inland Sea from 2005 to 2010. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

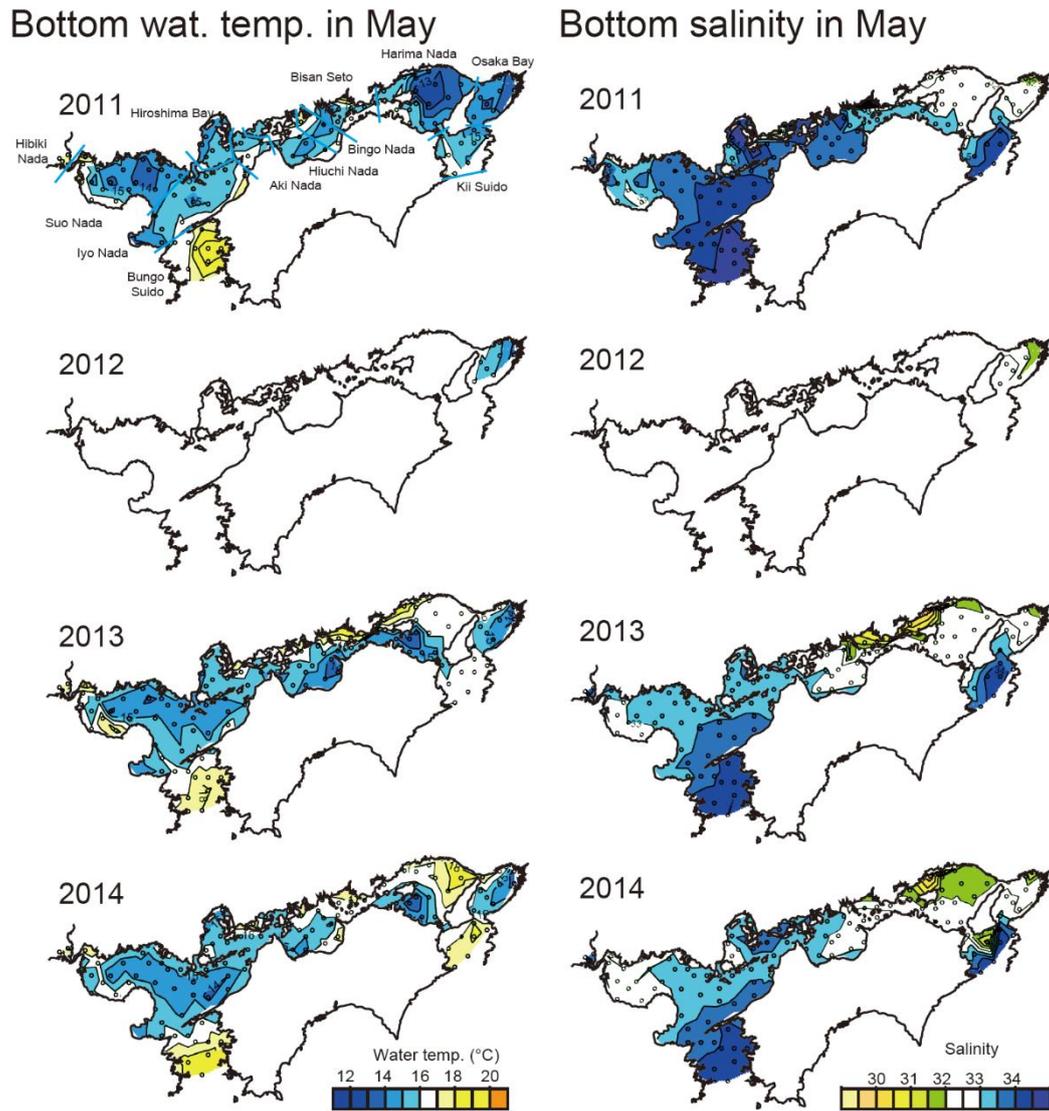


Fig. 5f. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in May in the Seto Inland Sea from 2011 to 2014. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

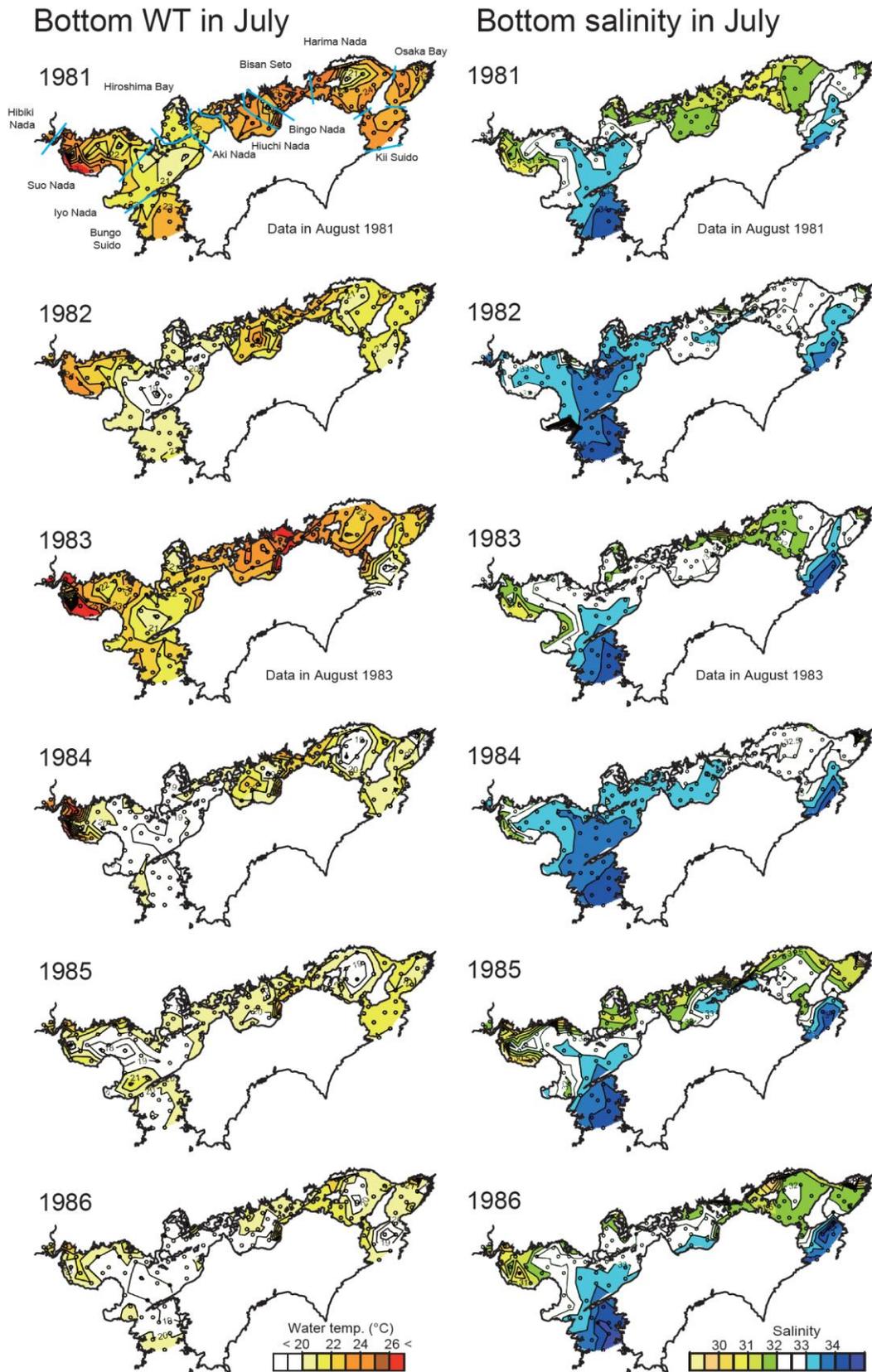


Fig. 6a. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in July in the Seto Inland Sea from 1981 to 1986. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

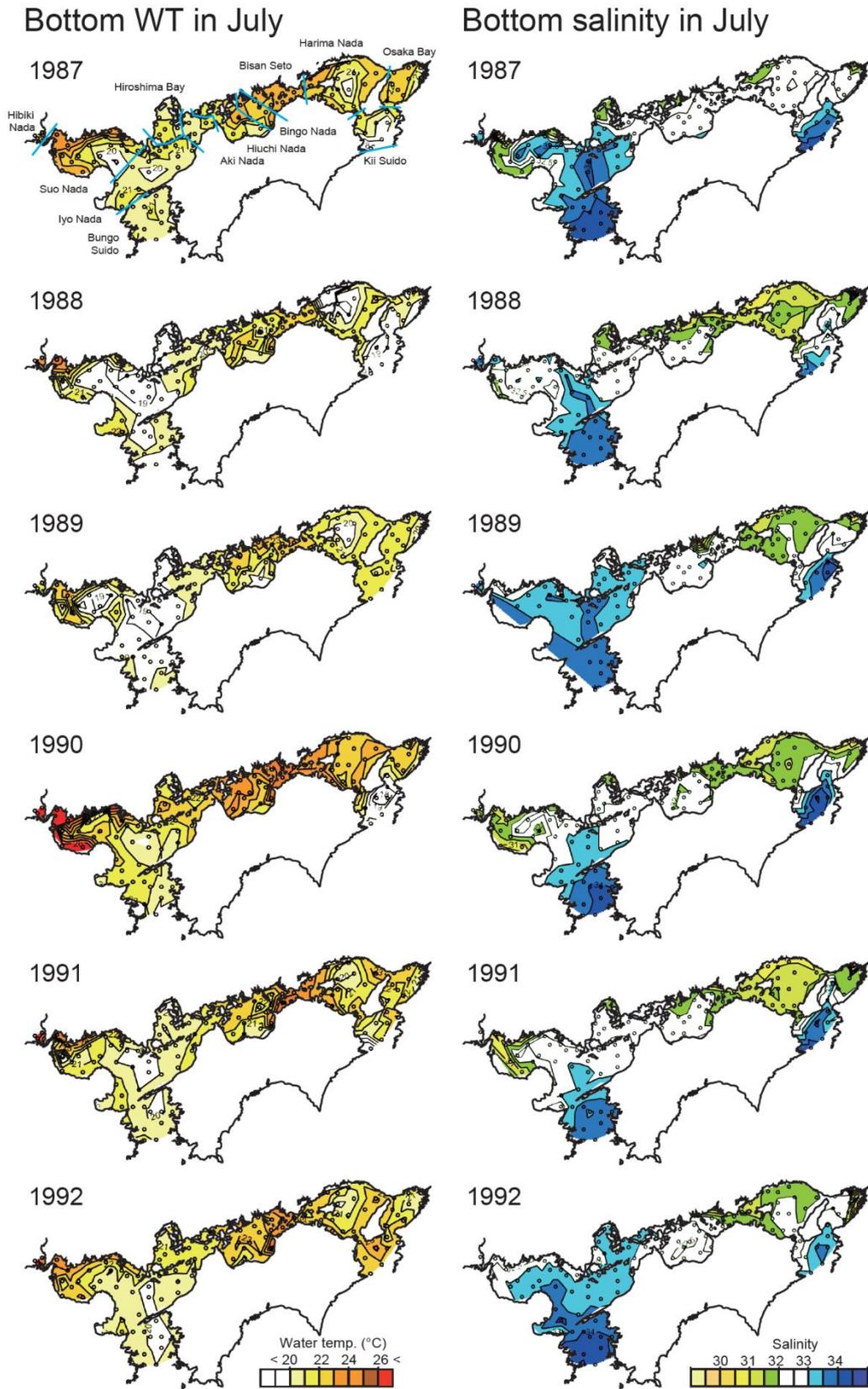


Fig. 6b. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in July in the Seto Inland Sea from 1987 to 1992. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

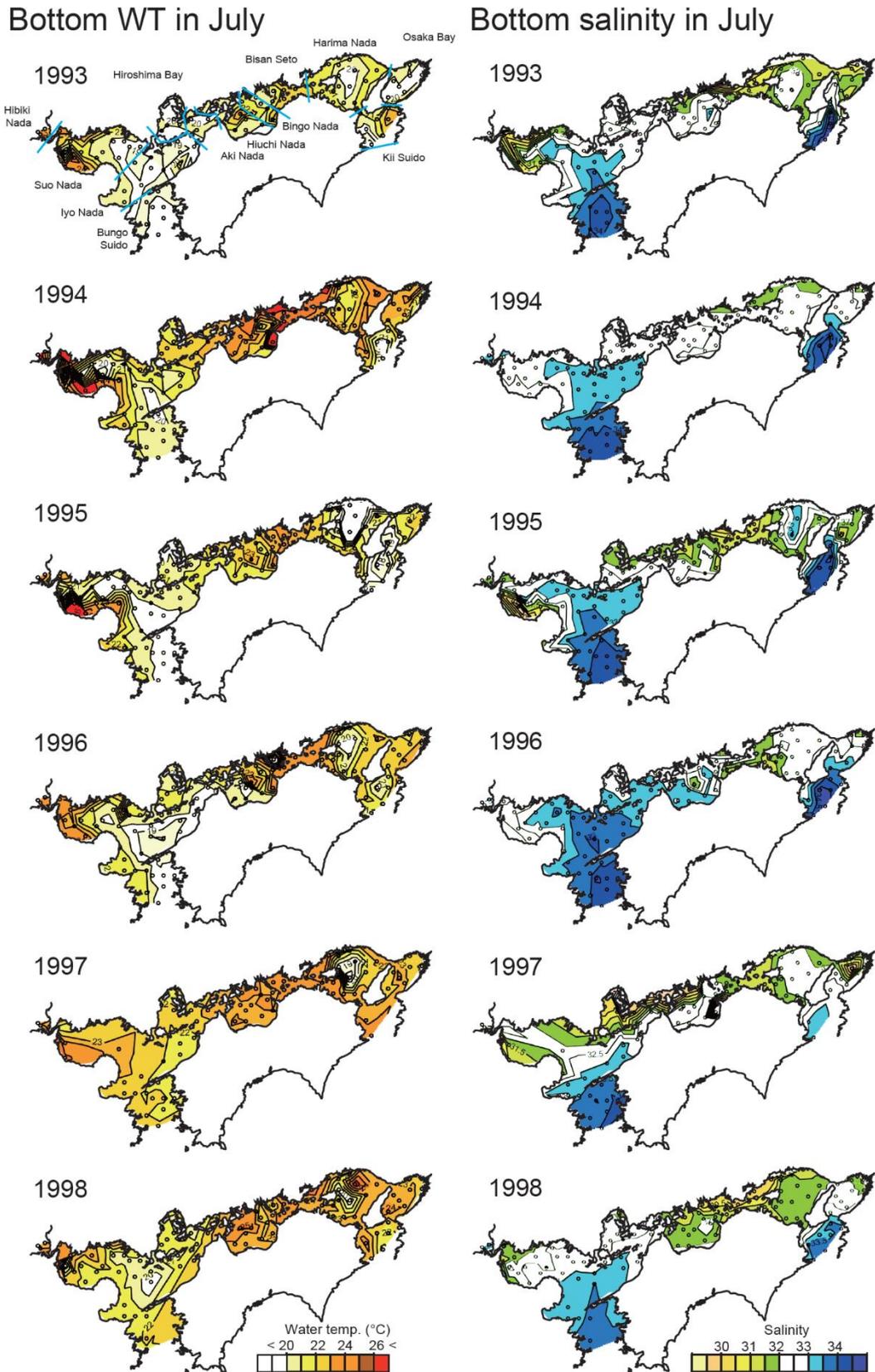


Fig. 6c. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in July in the Seto Inland Sea from 1993 to 1998. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

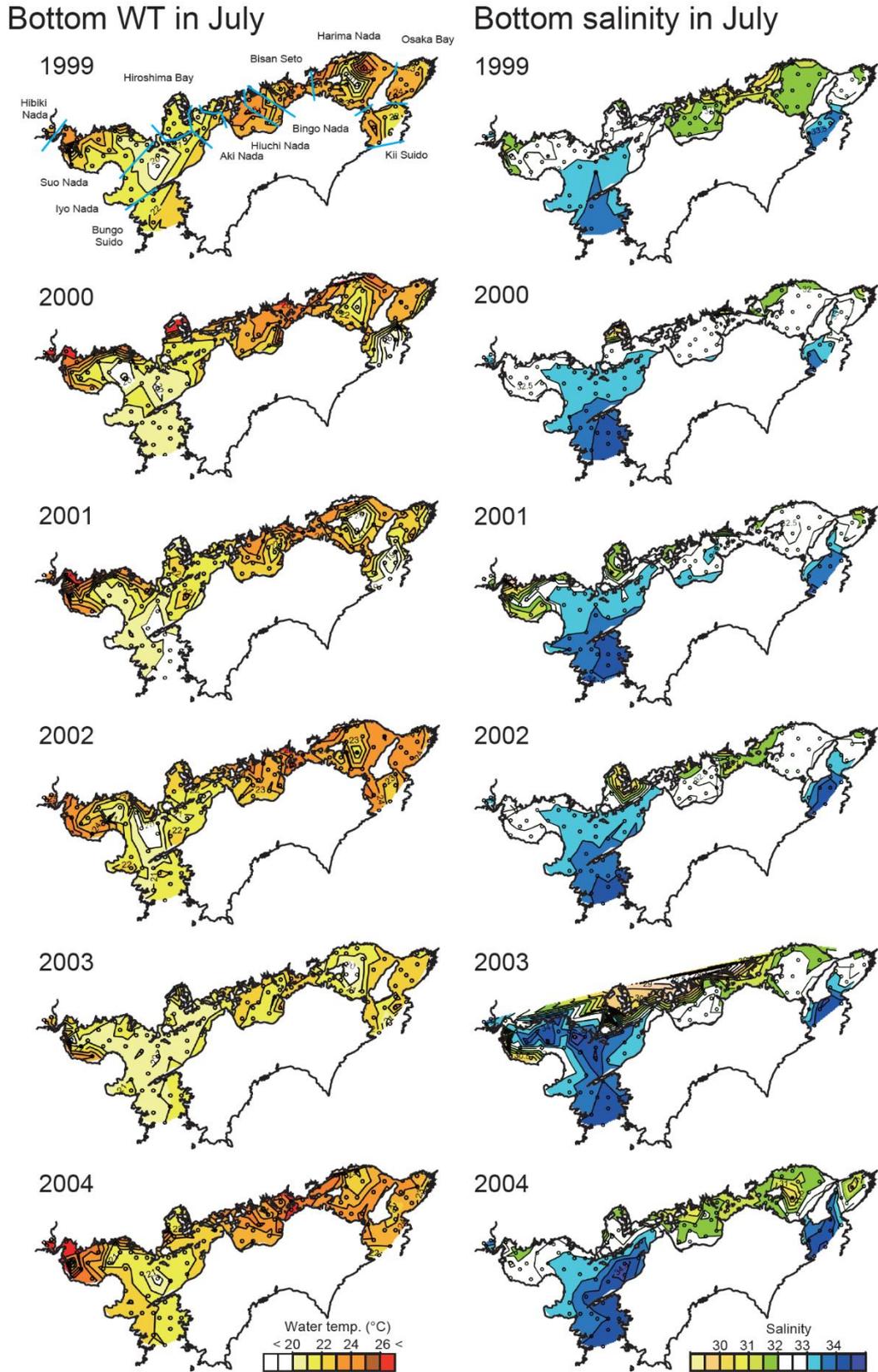


Fig. 6d. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in July in the Seto Inland Sea from 1999 to 2004. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

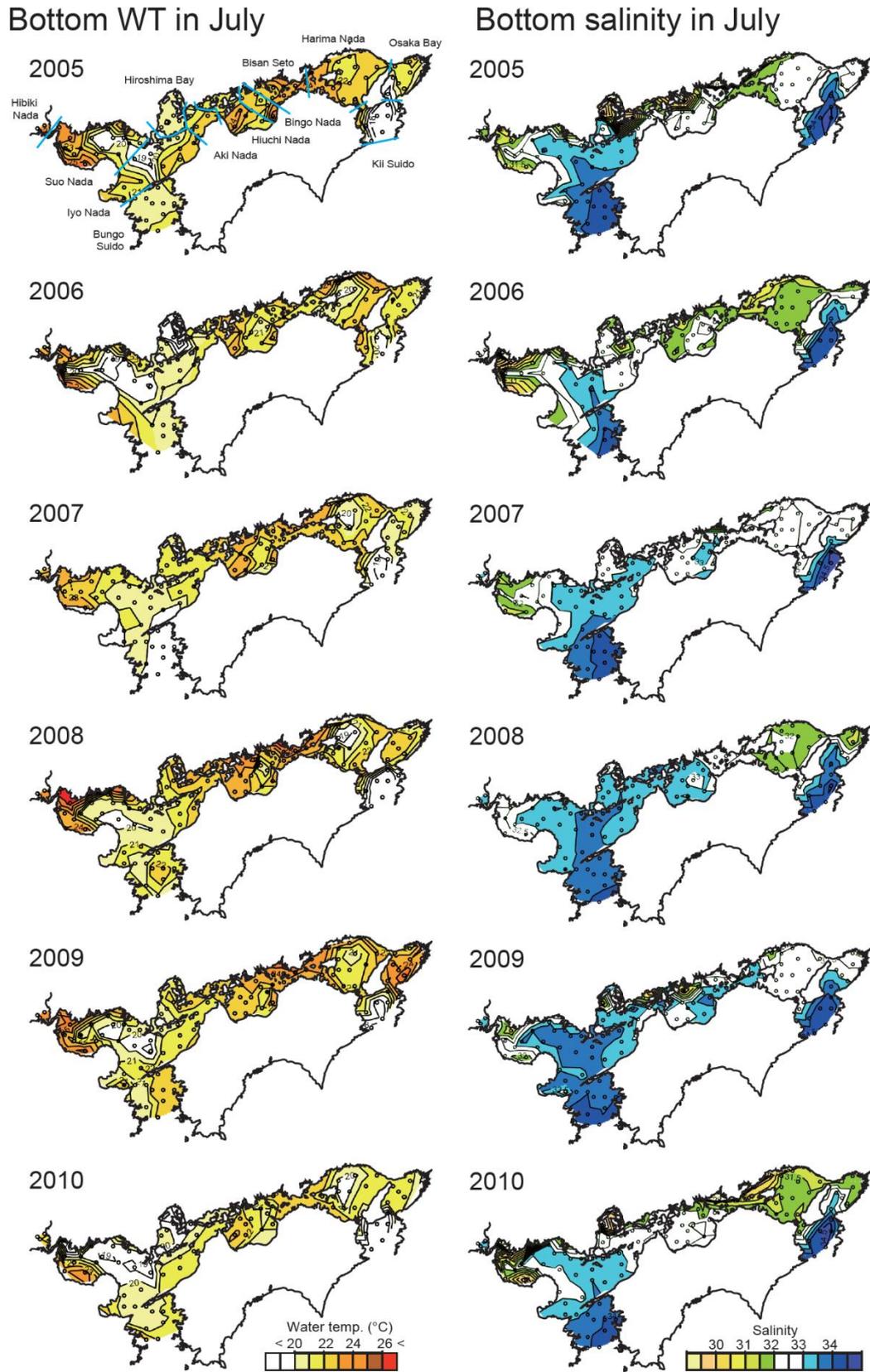


Fig. 6e. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in July in the Seto Inland Sea from 2005 to 2010. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

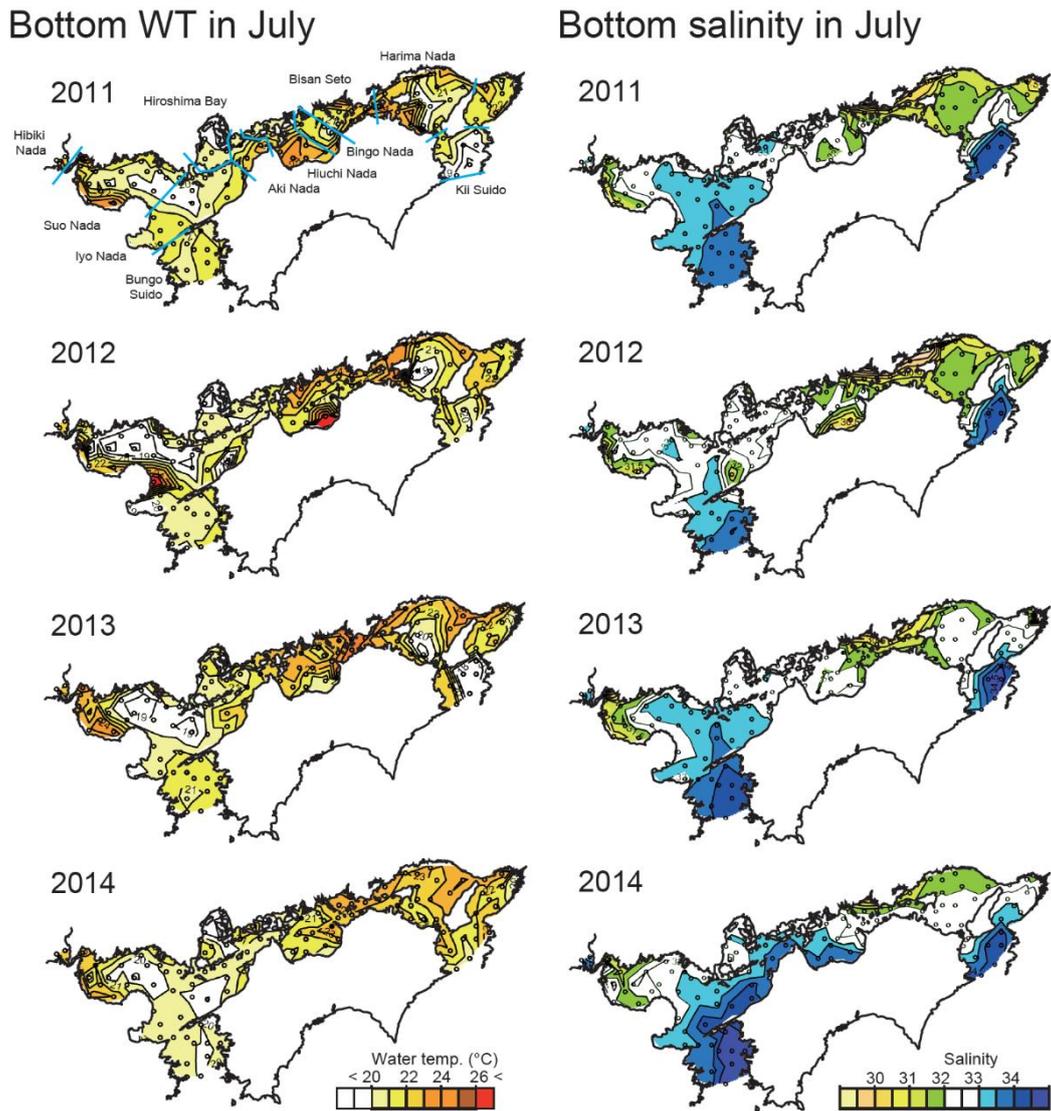


Fig. 6f. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in July in the Seto Inland Sea from 2011 to 2014. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

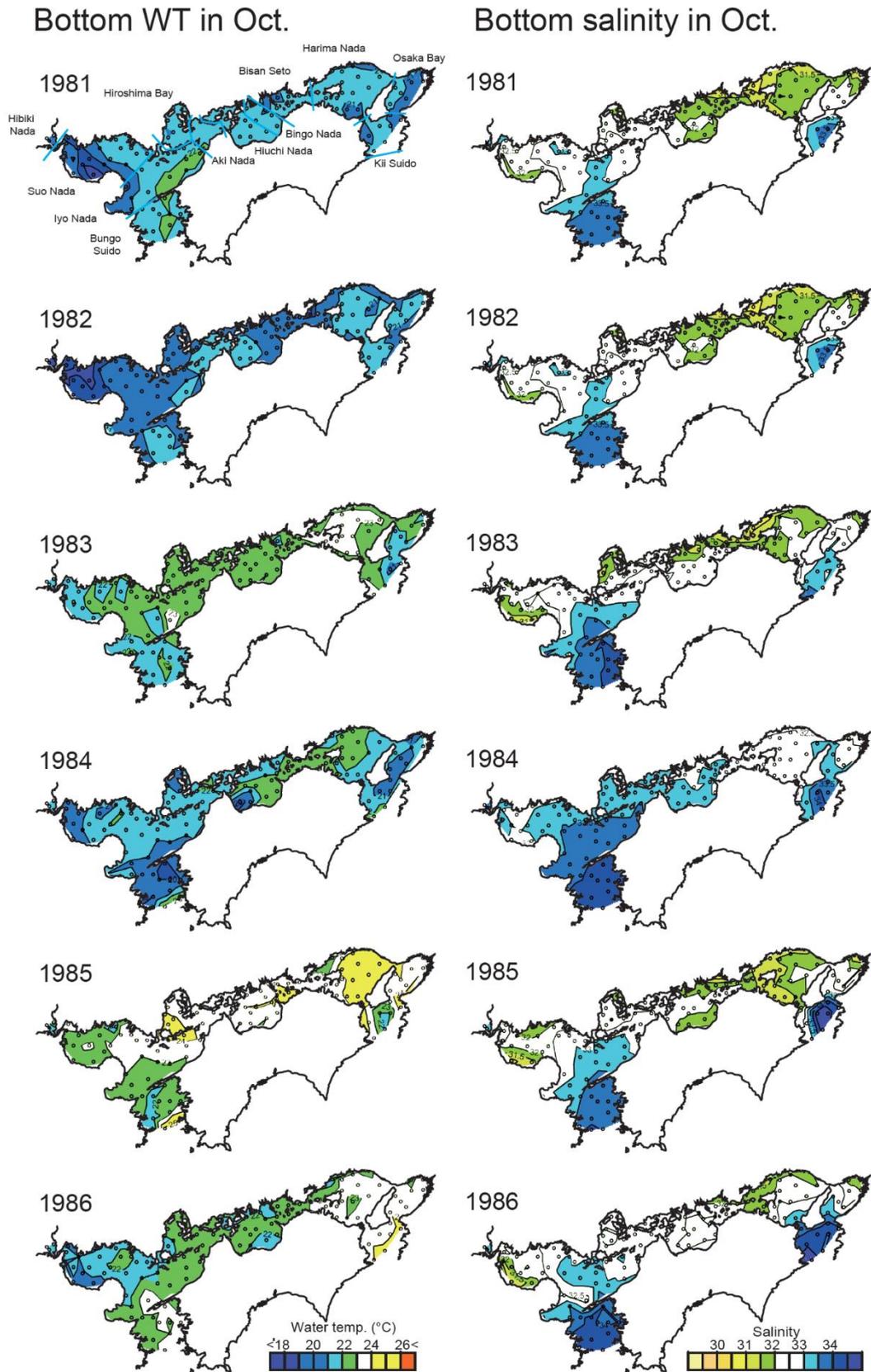


Fig. 7a. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in October in the Seto Inland Sea from 1981 to 1986. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

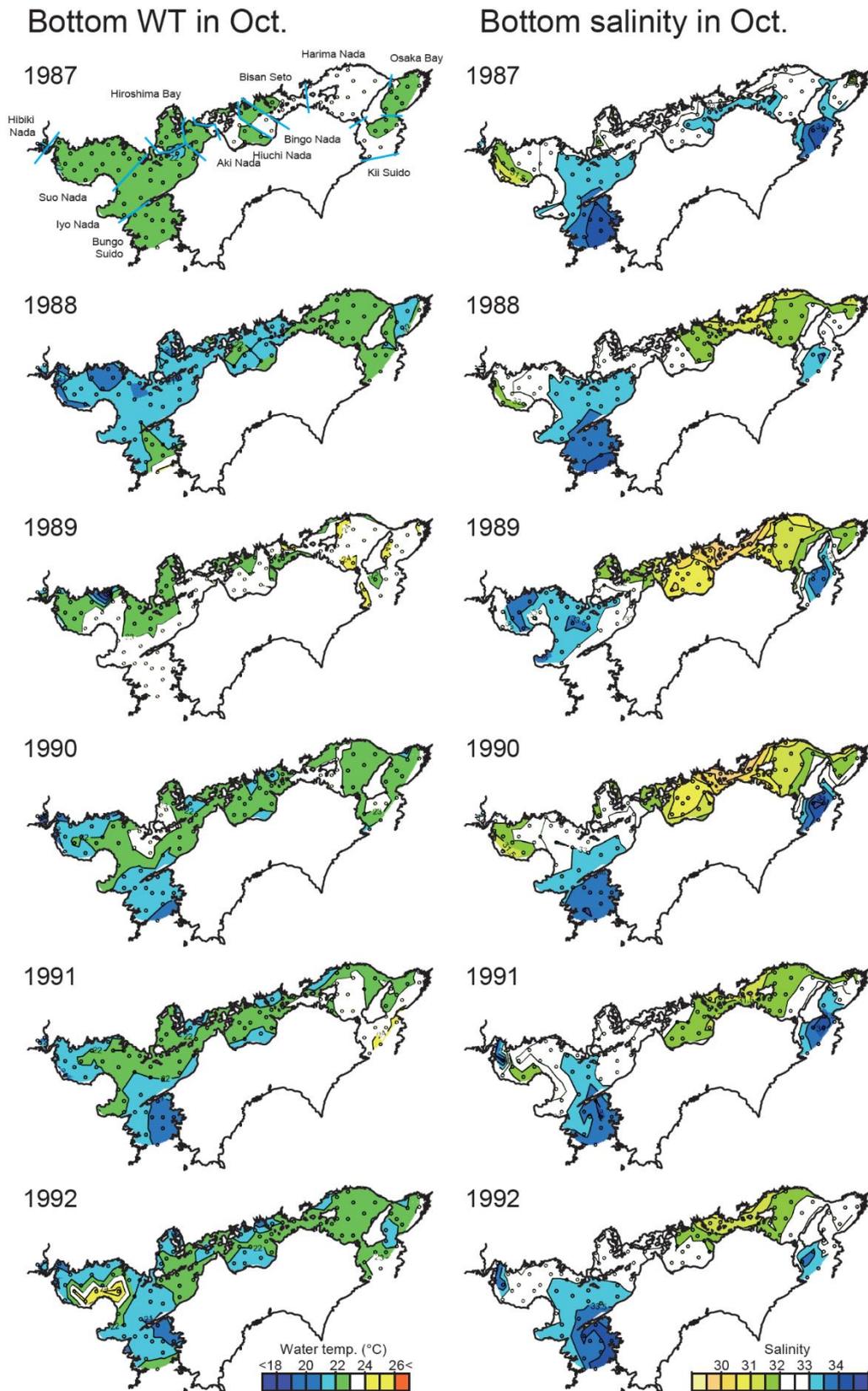


Fig. 7b. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in October in the Seto Inland Sea from 1987 to 1992. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

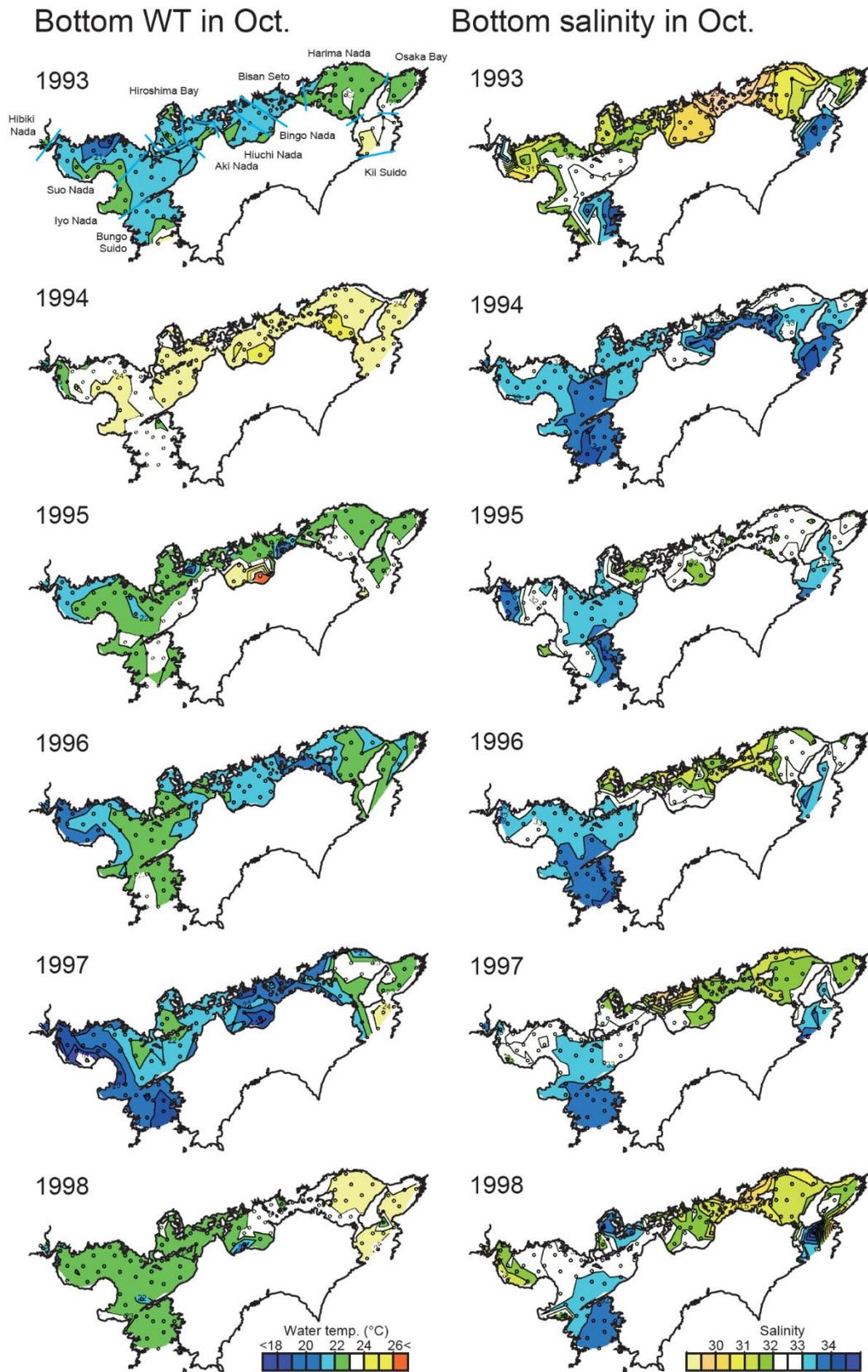


Fig. 7c. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in October in the Seto Inland Sea from 1993 to 1998. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

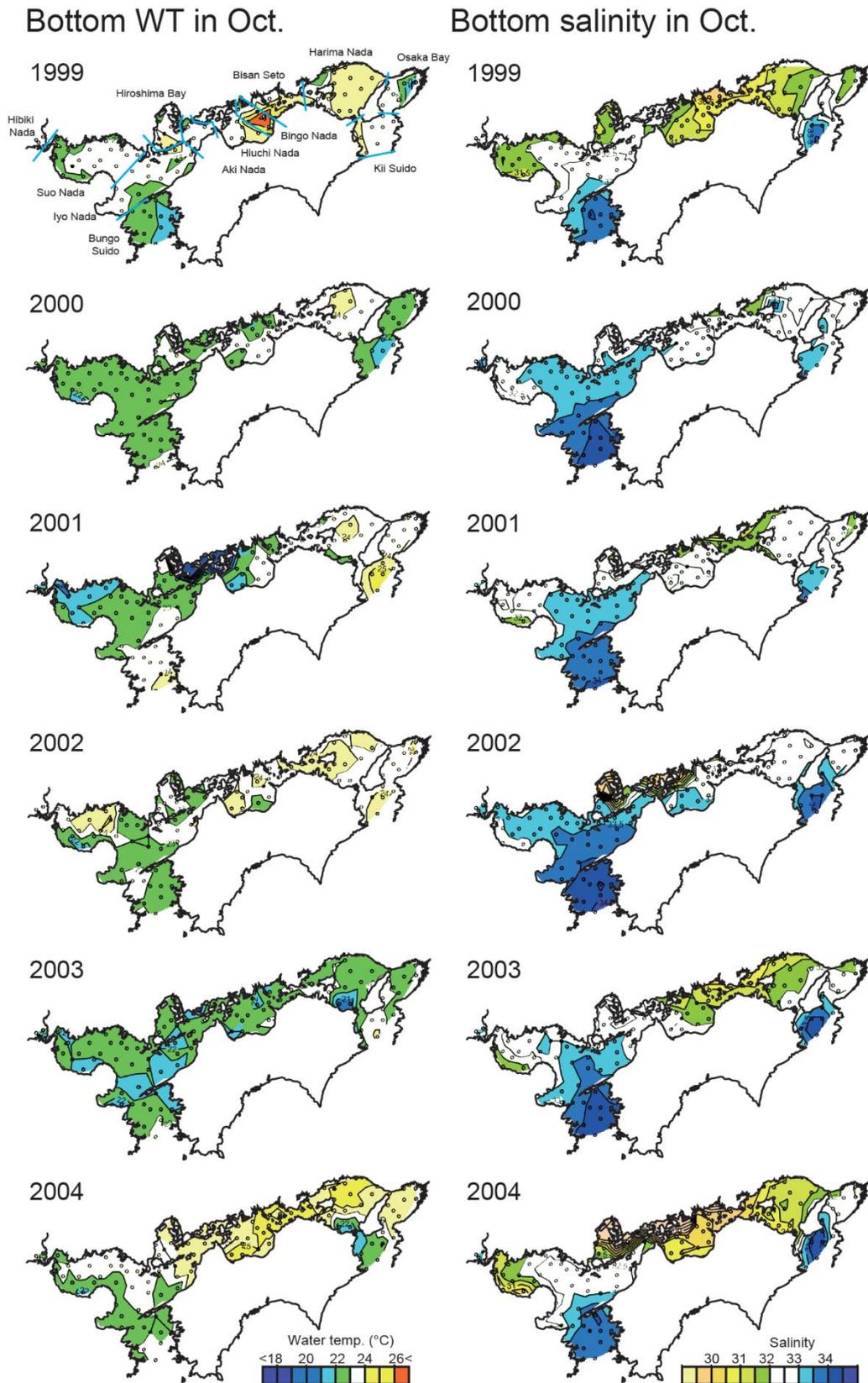


Fig. 7d. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in October in the Seto Inland Sea from 1999 to 2004. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

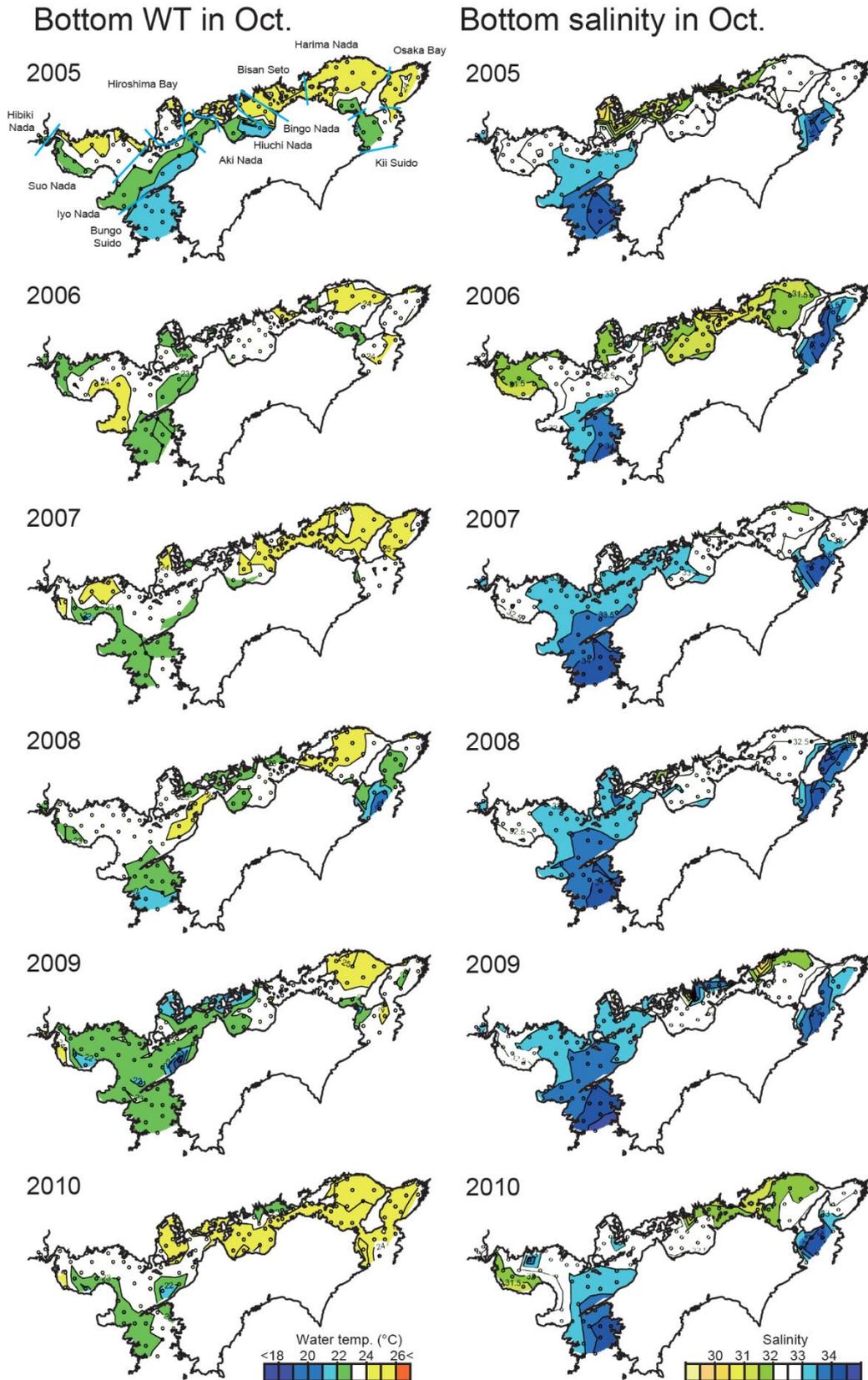


Fig. 7e. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in October in the Seto Inland Sea from 2005 to 2010. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

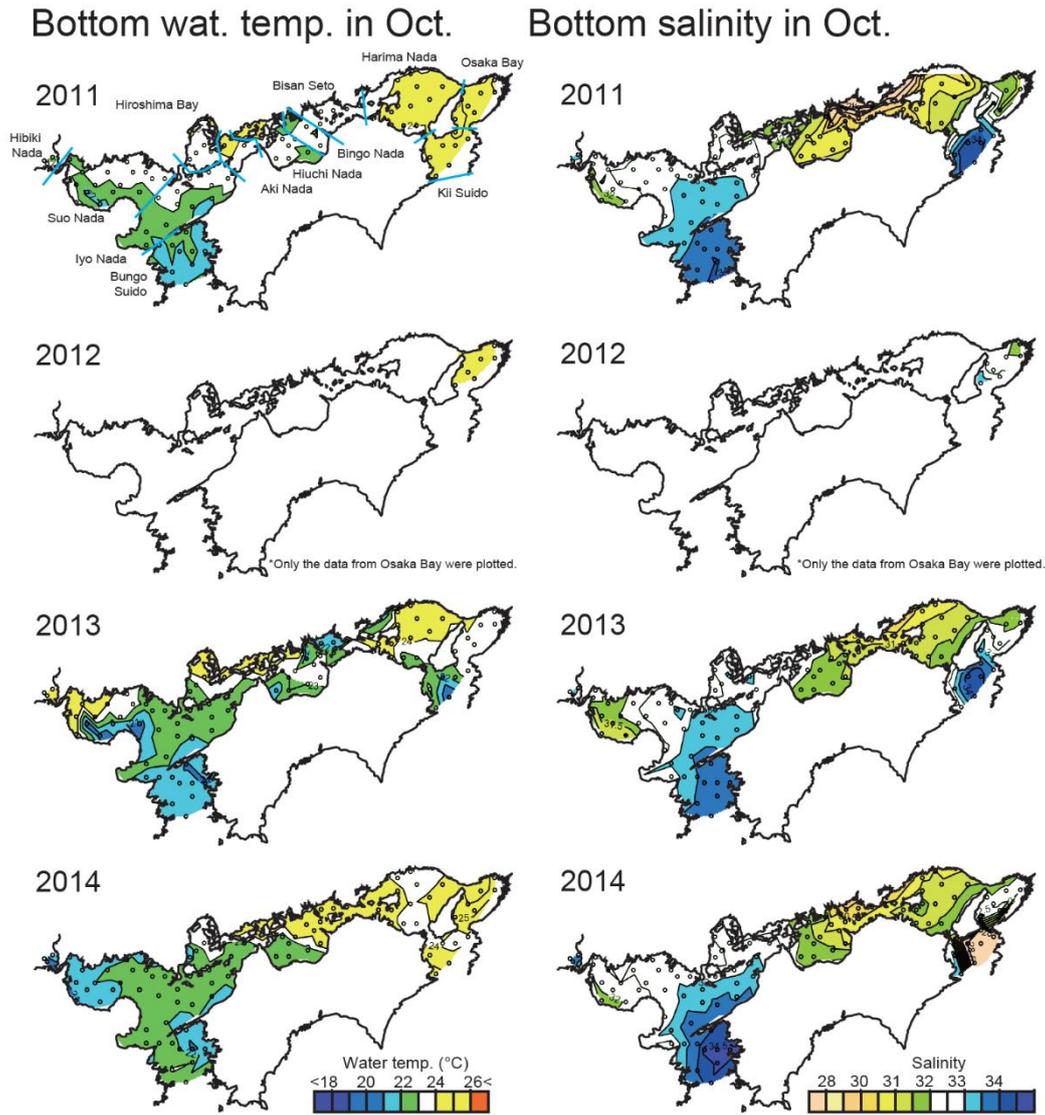


Fig. 7f. Spatial distribution of bottom water temperature (WT; left) and bottom salinity (right) in October in the Seto Inland Sea from 2011 to 2014. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

Annual minimum bottom water temperature

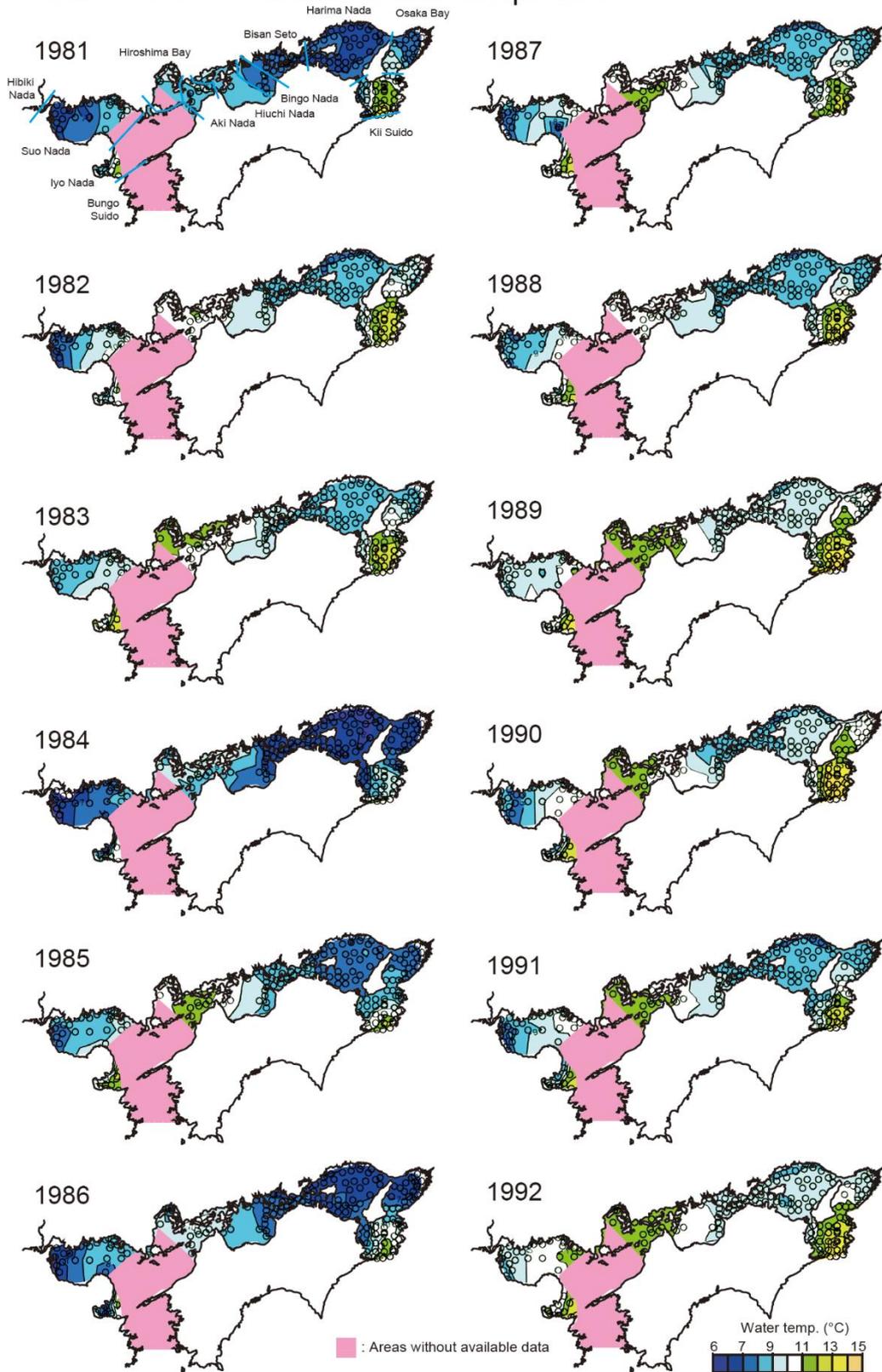


Fig. 8a. Spatial distribution of the annual minimum bottom water temperature from 1981 to 1992. Data are from the Senkai Teisen Chosa survey conducted by the Offices of prefectures bordering the Seto Inland Sea.

Annual minimum bottom water temperature

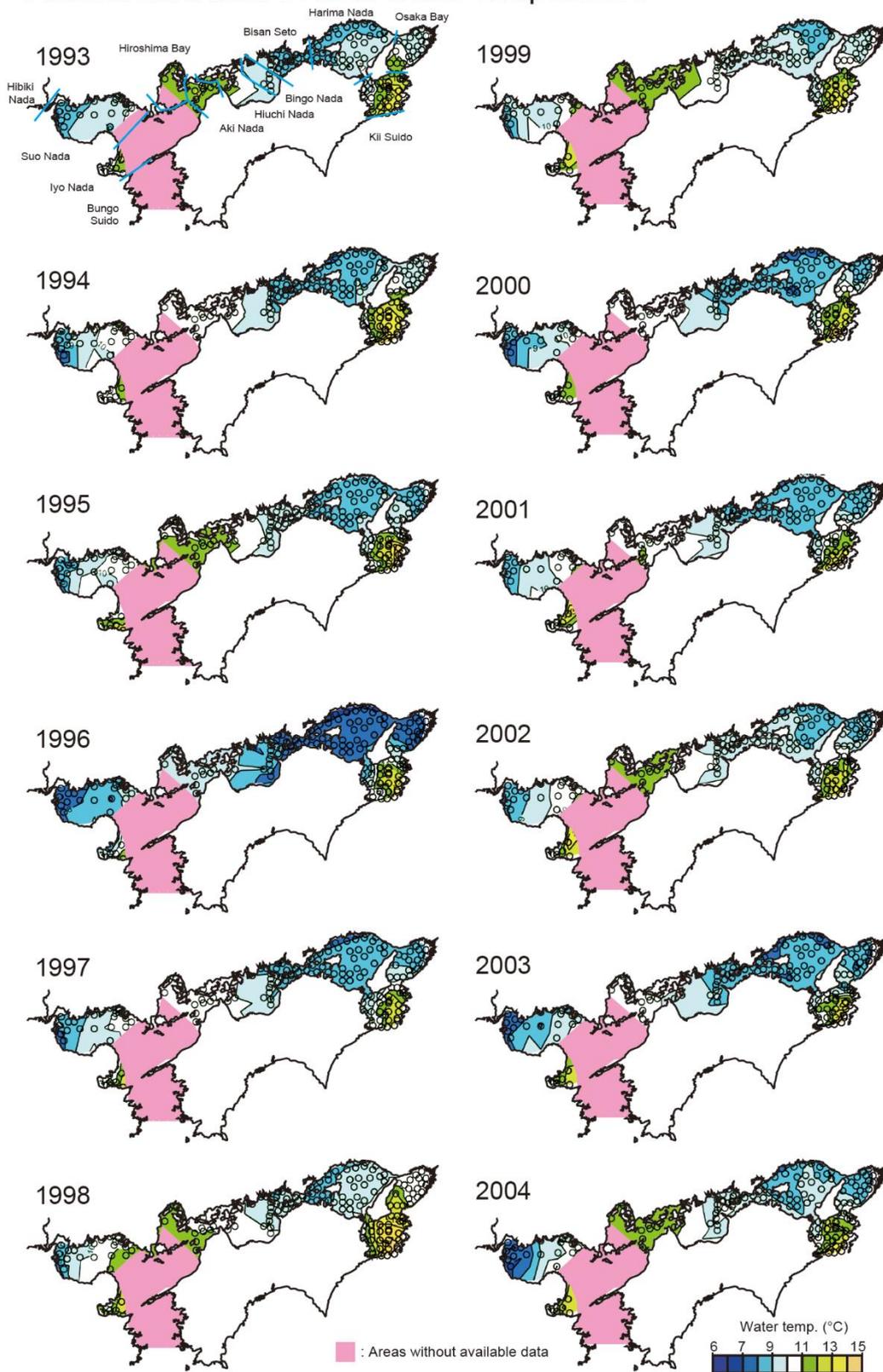


Fig. 8b. Spatial distribution of the annual minimum bottom water temperature from 1993 to 2004. Data are from the Senkai Teisen Chosa survey conducted by the Offices of prefectures bordering the Seto Inland Sea.

Annual minimum bottom water temperature

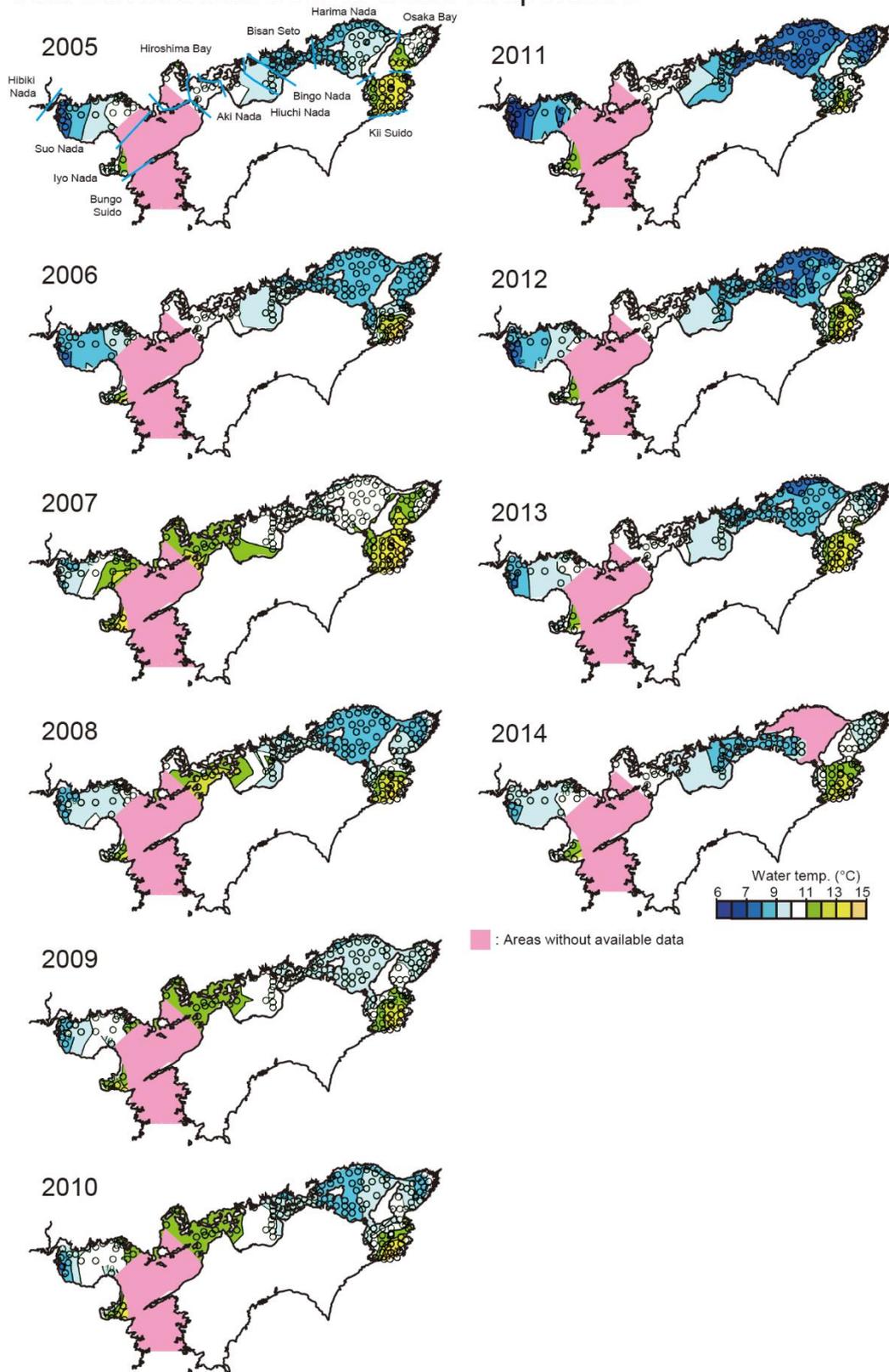


Fig. 8c. Spatial distribution of the annual minimum bottom water temperature from 2005 to 2014. Data are from the Senkai Teisen Chosa survey conducted by the Offices of prefectures bordering the Seto Inland Sea.

Annual maximum bottom water temperature

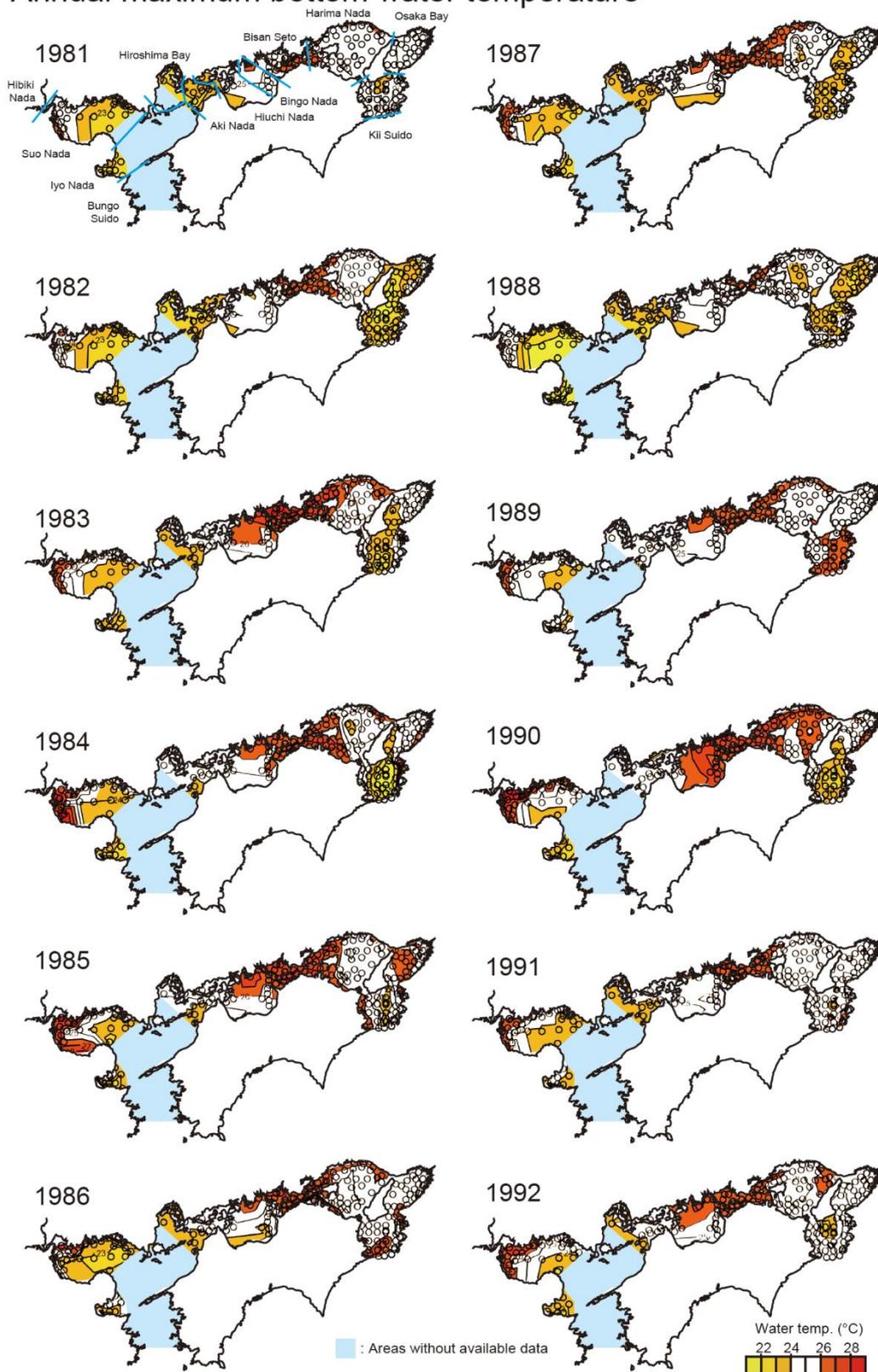


Fig. 9a. Spatial distribution of the annual maximum bottom water temperature from 1981 to 1992. Data are from the Senkai Teisen Chosa survey conducted by the Offices of prefectures bordering the Seto Inland Sea.

Annual maximum bottom water temperature

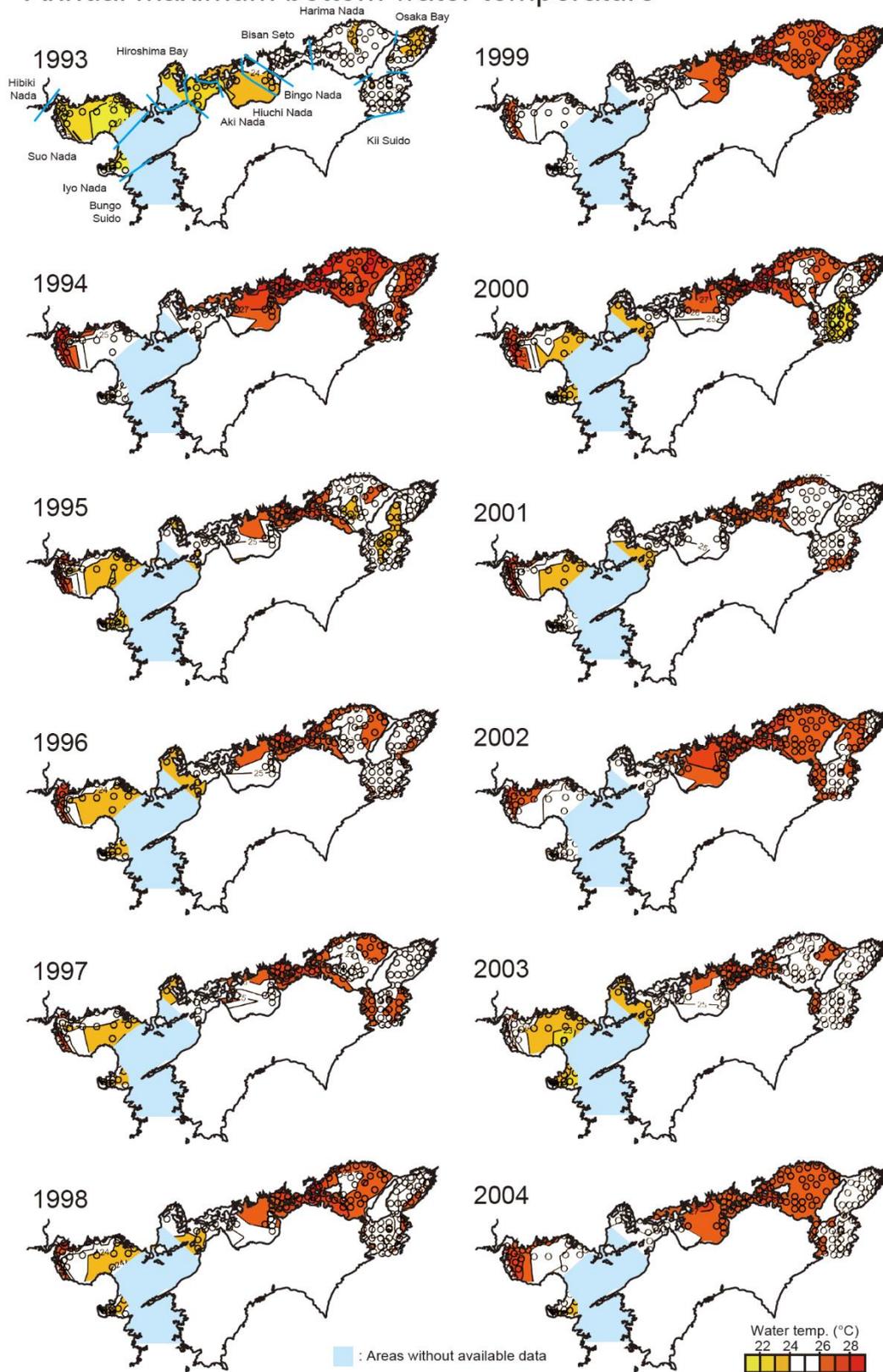


Fig. 9b. Spatial distribution of the annual maximum bottom water temperature from 1993 to 2004. Data are from the Senkai Teisen Chosa survey conducted by the Offices of prefectures bordering the Seto Inland Sea.

Annual maximum bottom water temperature

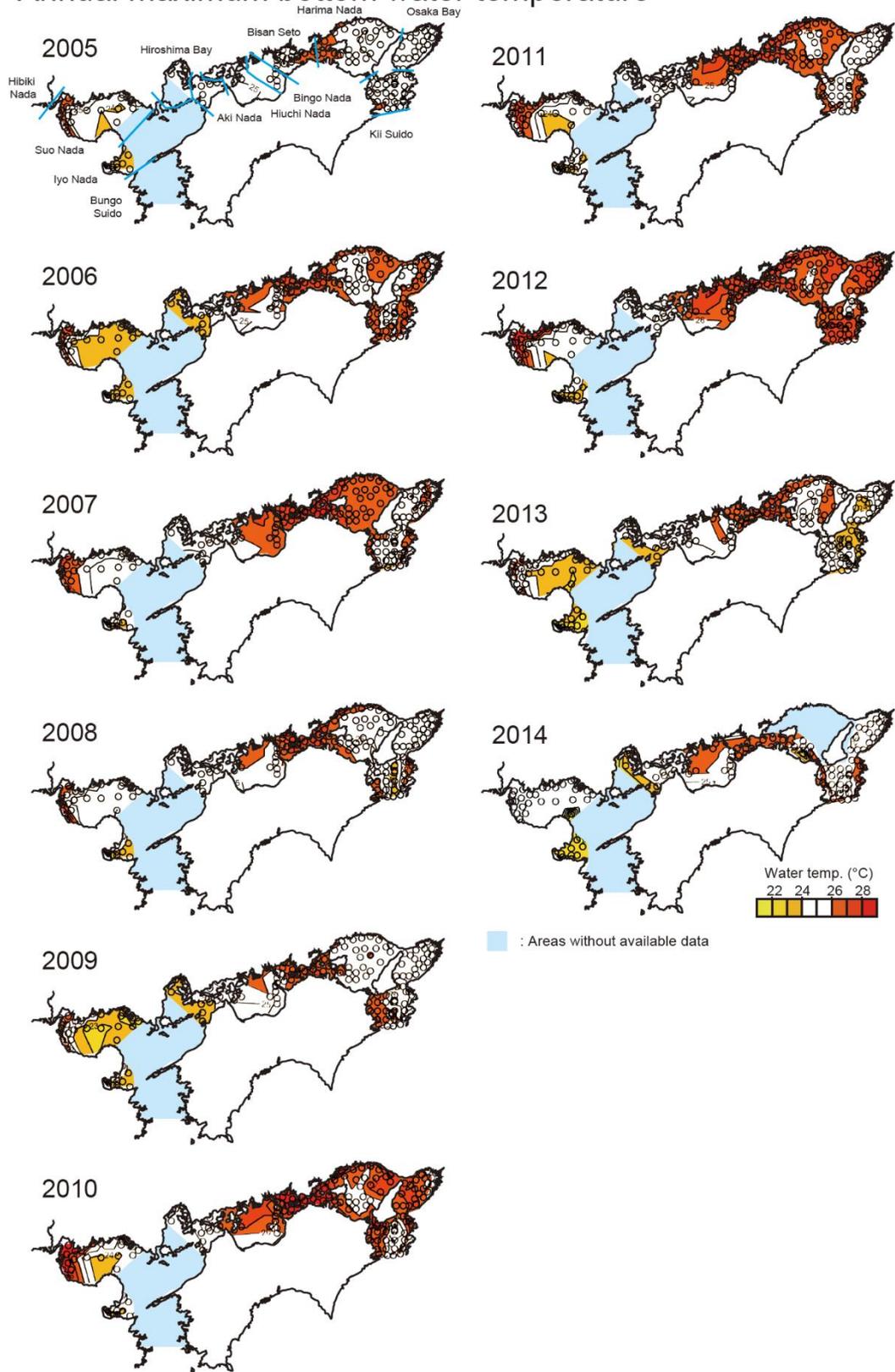


Fig. 9c. Spatial distribution of the annual maximum bottom water temperature from 2005 to 2014. Data are from the Senkai Teisen Chosa survey conducted by the Offices of prefectures bordering the Seto Inland Sea.

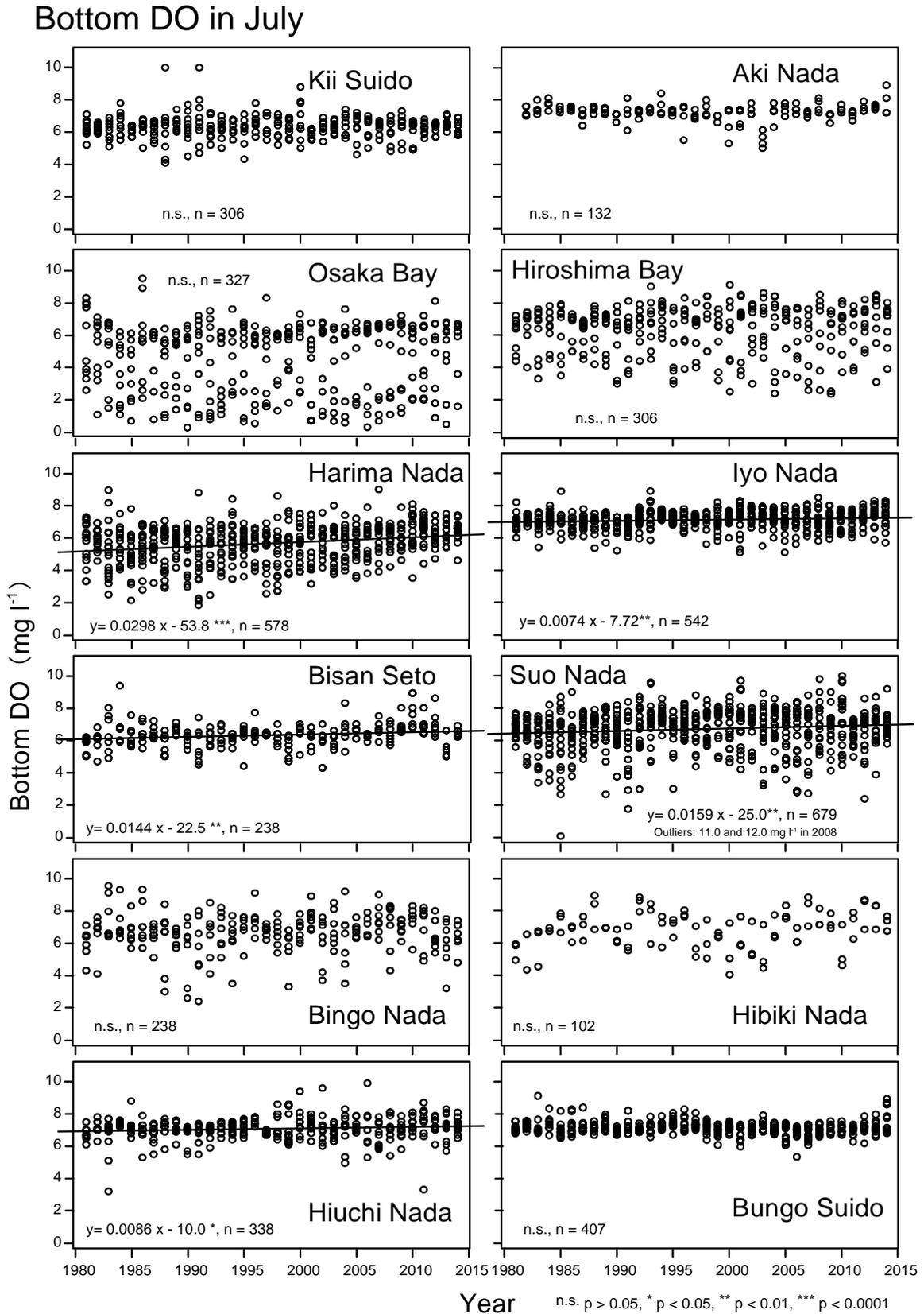


Fig. 10. Long-term changes in bottom DO in July, in 12 areas of the Seto Inland Sea from 1981 to 2015. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment. The black line is the linear regression line, using year as an explanatory variable. P-values for the Pearson's correlation coefficients are denoted by asterisks.

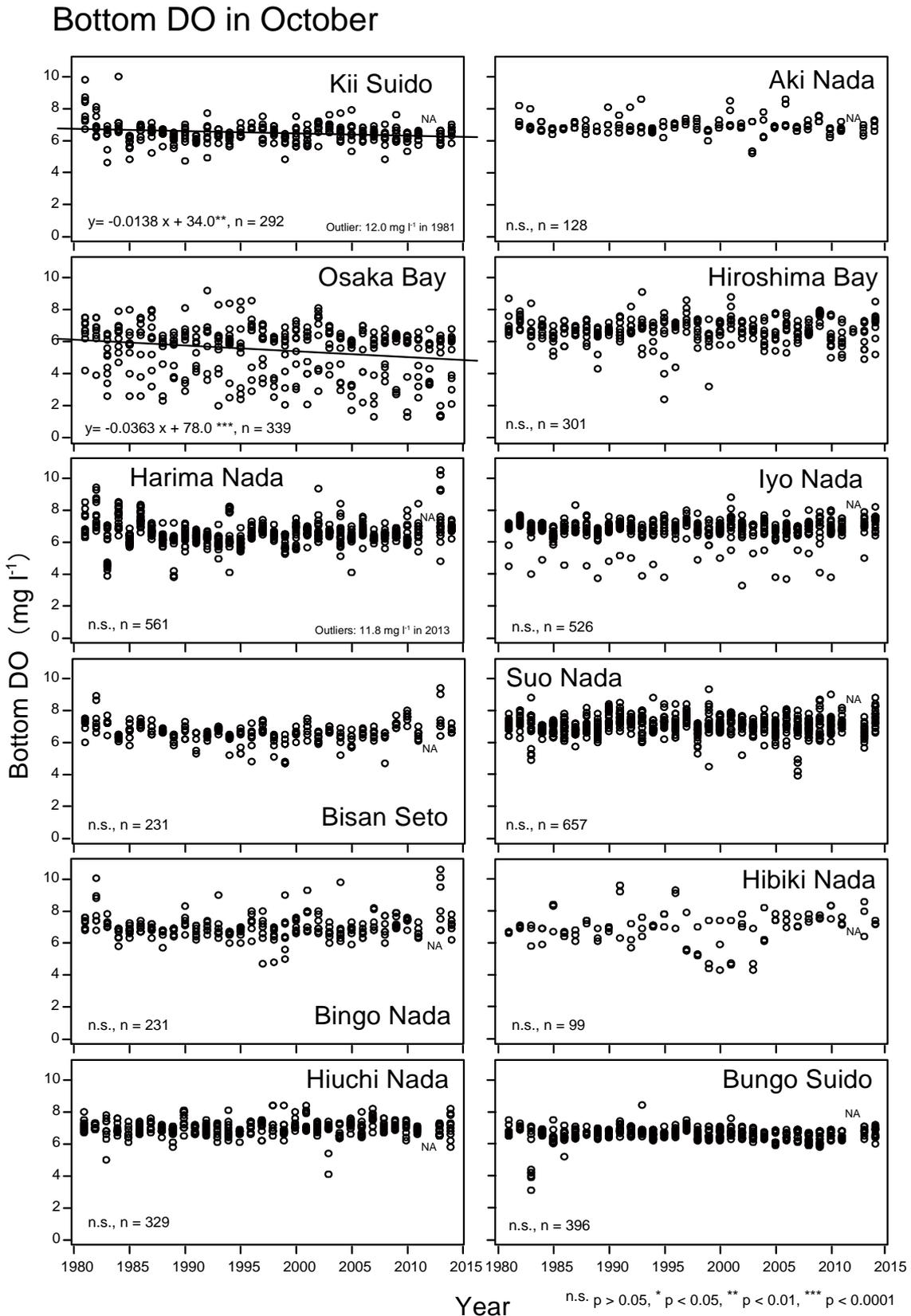


Fig. 11. Long-term changes in bottom DO in October, in 12 areas of the Seto Inland Sea from 1981 to 2015. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment. The black line is the linear regression line, using year as an explanatory variable. *P*-values for the Pearson's correlation coefficients are denoted by asterisks.

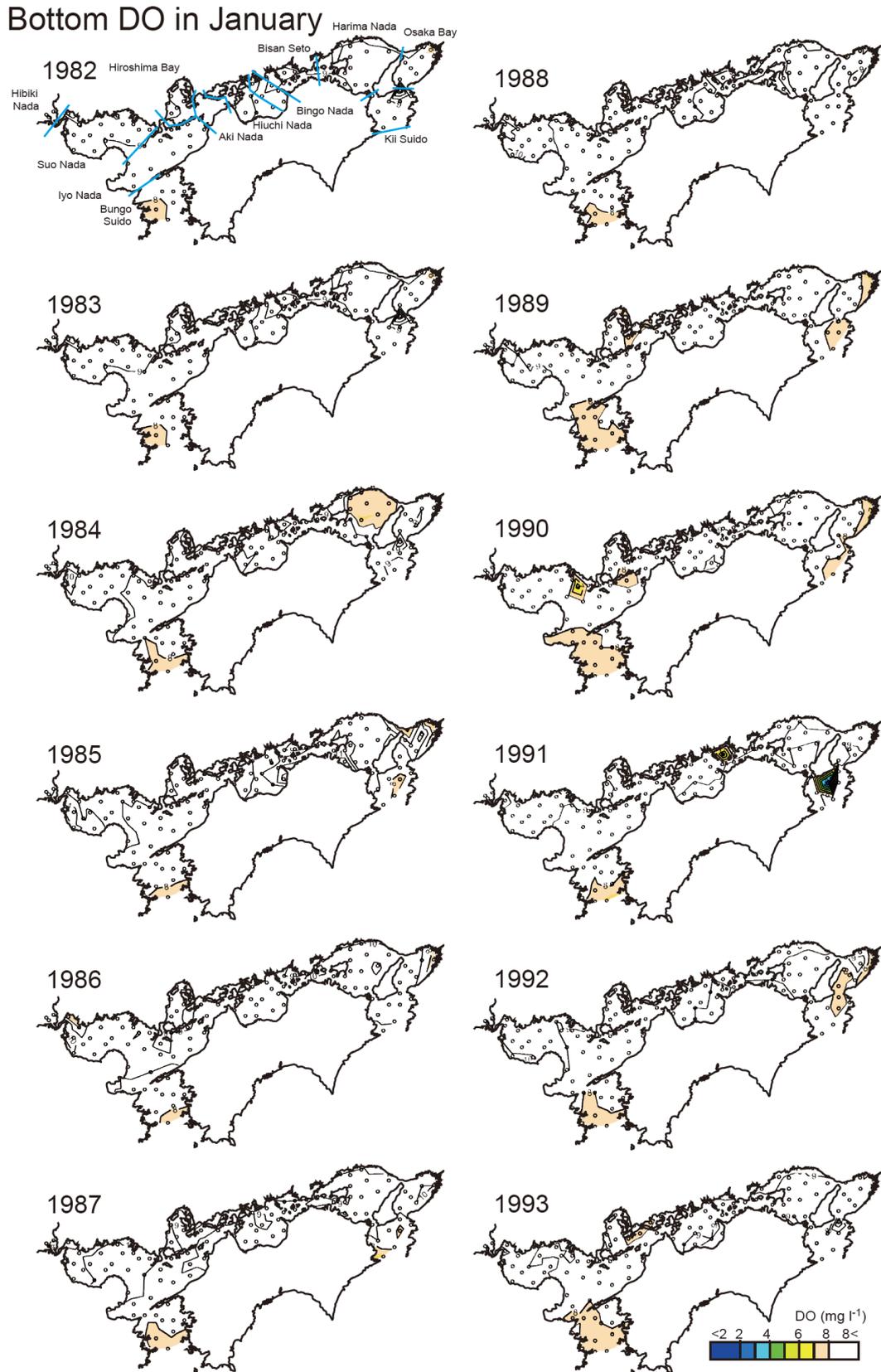


Fig. 12a. Spatial distribution of bottom DO in January in the Seto Inland Sea from 1982 to 1993. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

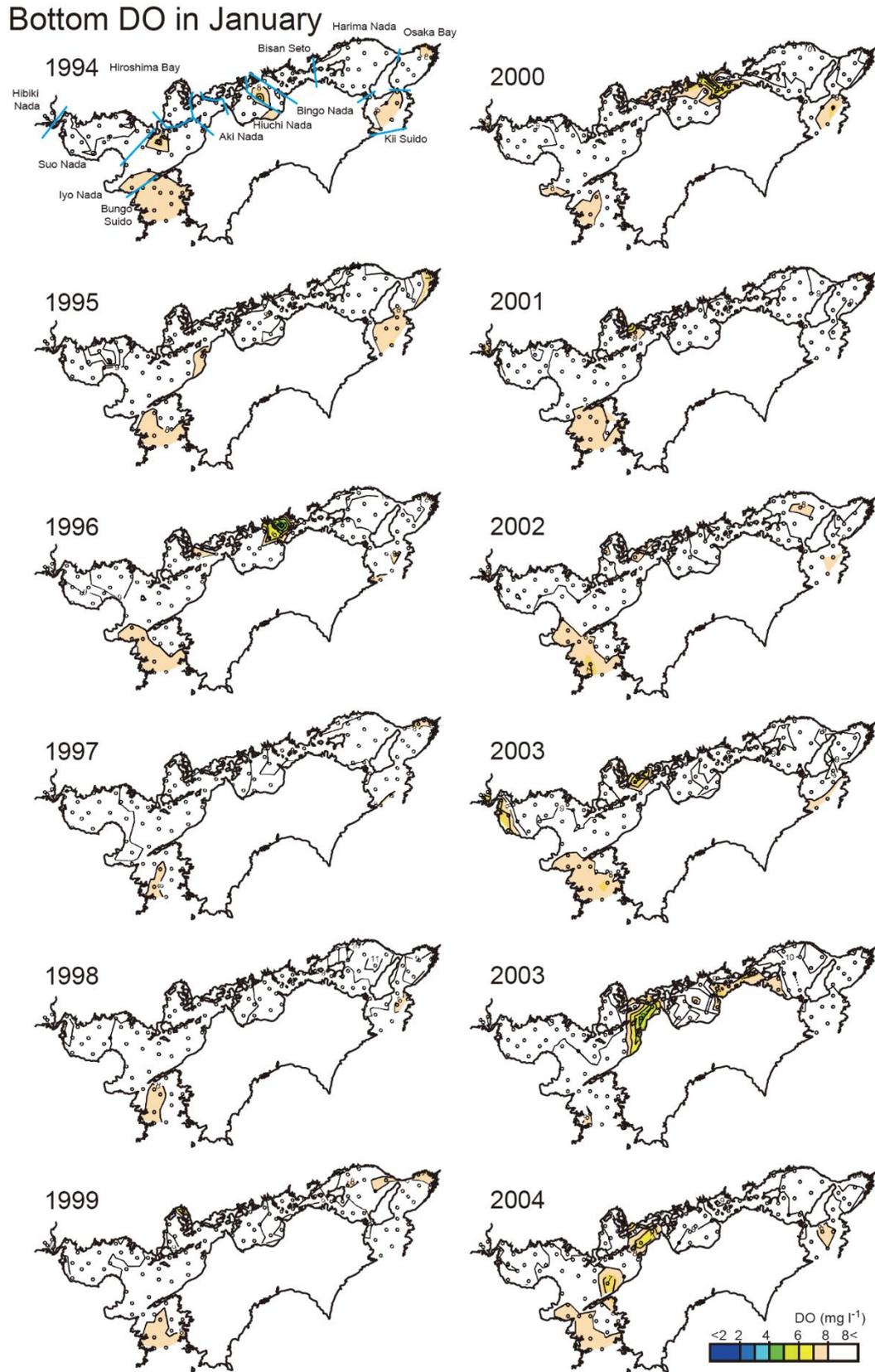


Fig. 12b. Spatial distribution of bottom DO in January in the Seto Inland Sea from 1994 to 2004. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

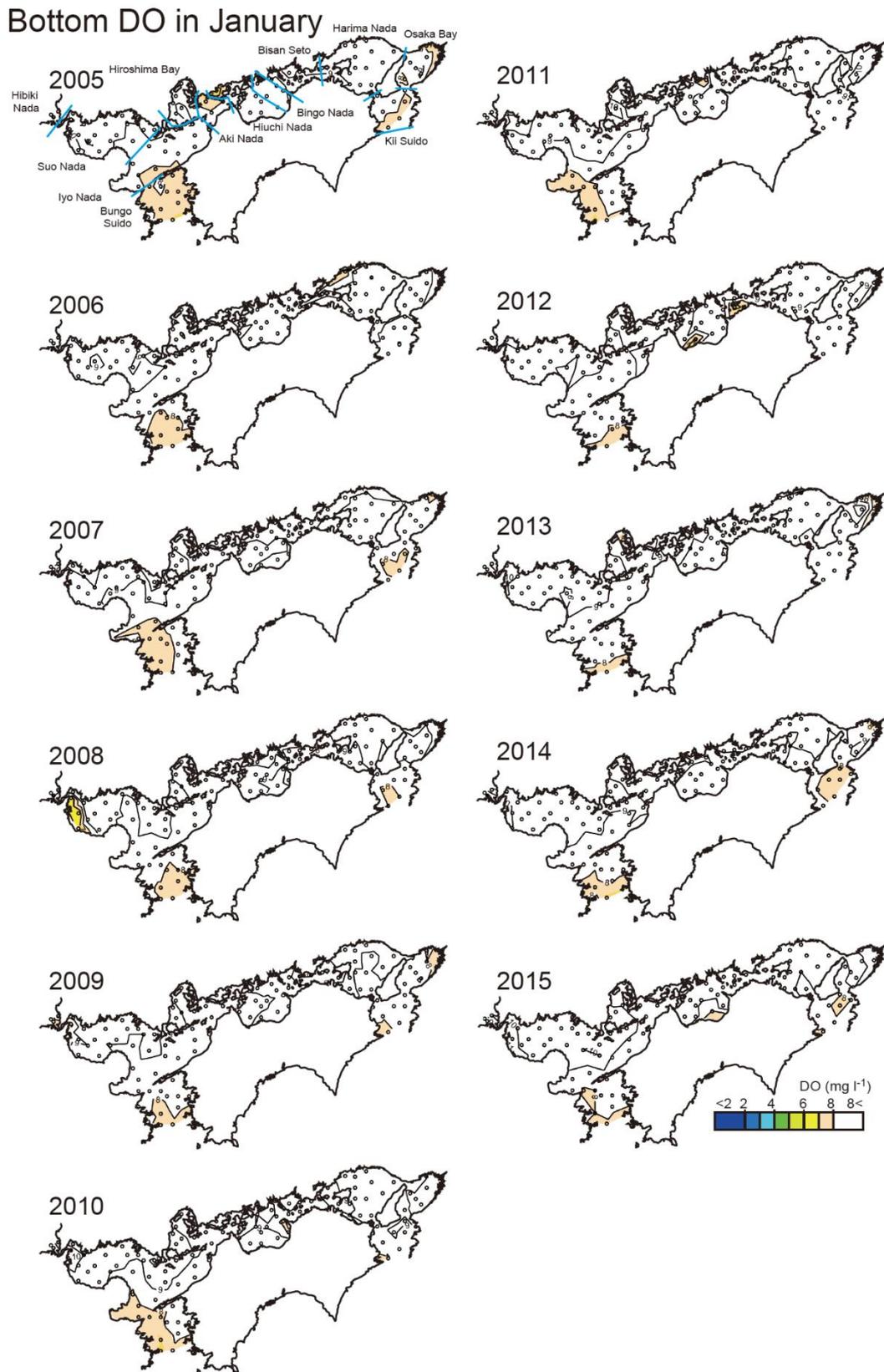


Fig. 12c. Spatial distribution of bottom DO in January in the Seto Inland Sea from 2005 to 2015. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

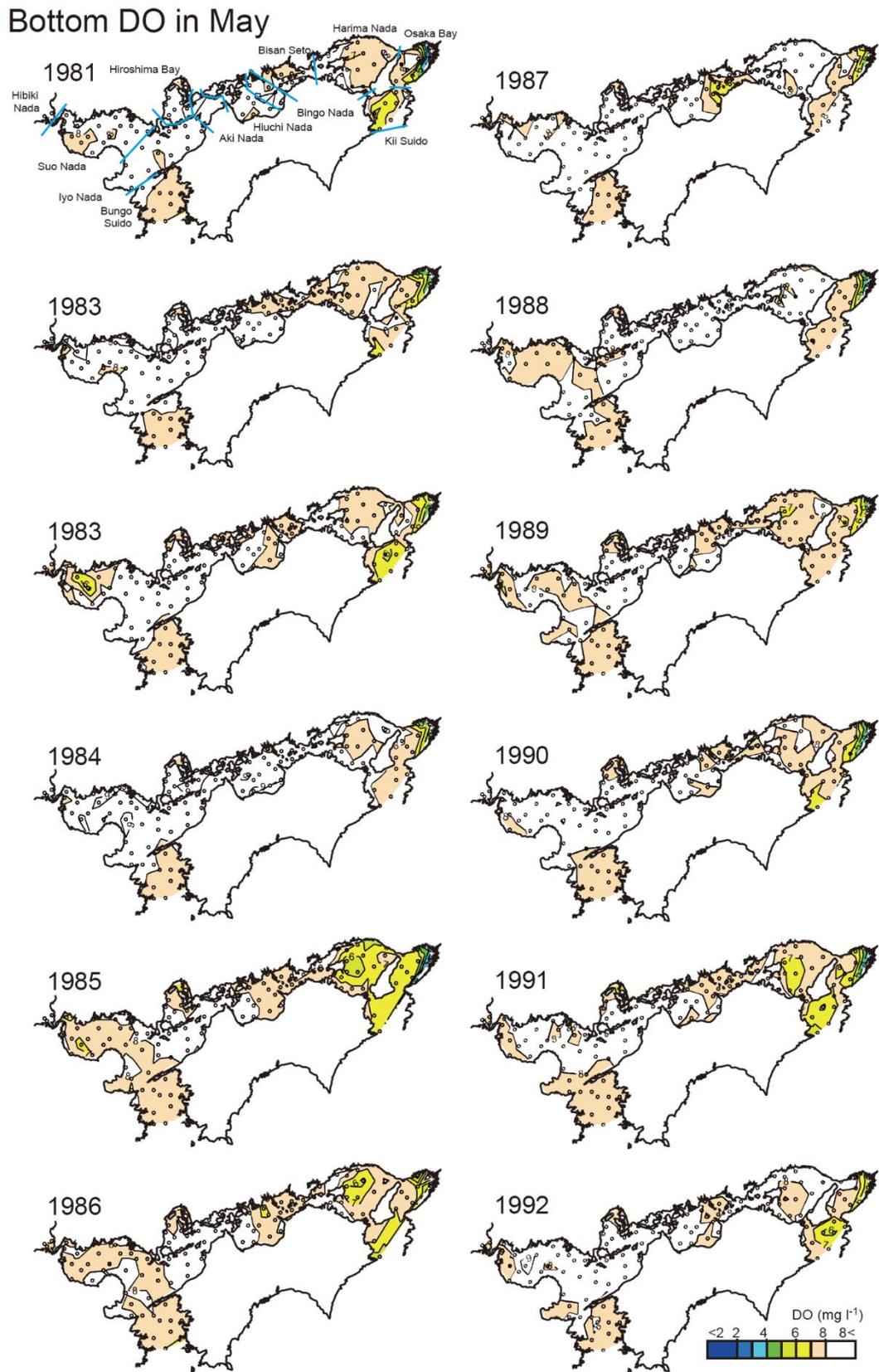


Fig. 13a. Spatial distribution of bottom DO in May in the Seto Inland Sea from 1981 to 1992. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

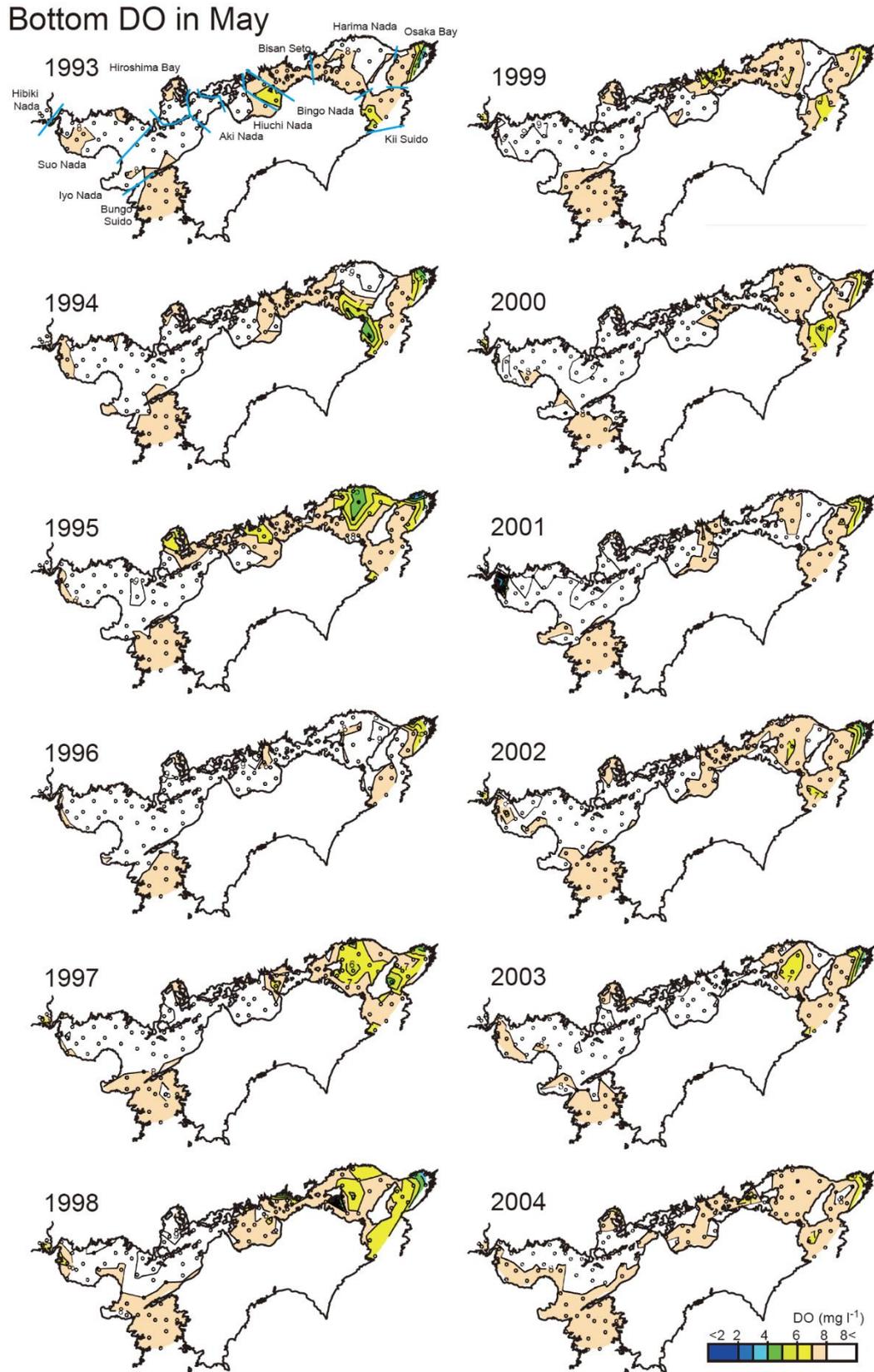


Fig. 13b. Spatial distribution of bottom DO in May in the Seto Inland Sea from 1993 to 2004. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

Bottom DO in May

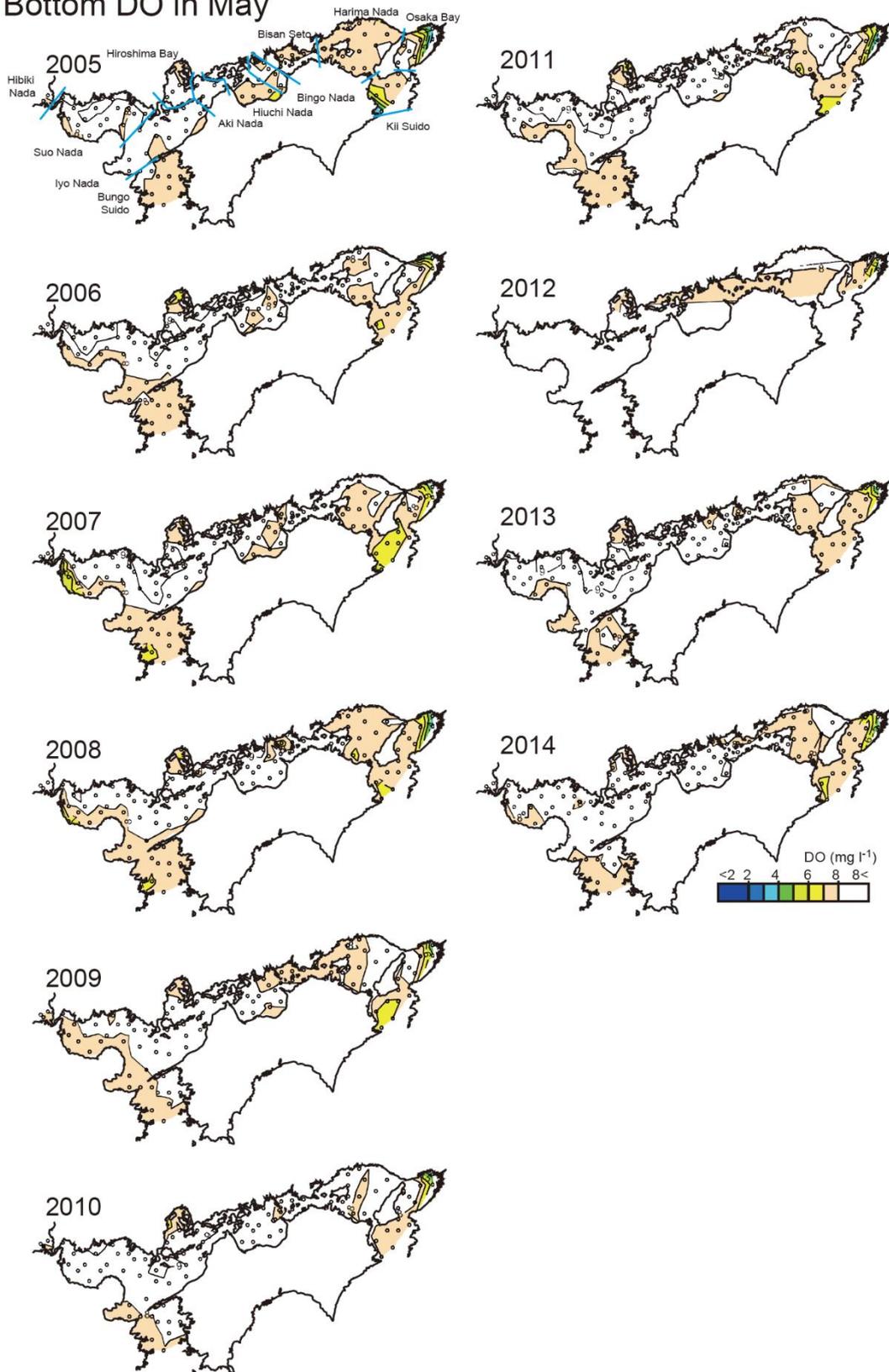


Fig. 13c. Spatial distribution of bottom DO in May in the Seto Inland Sea from 2005 to 2014. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

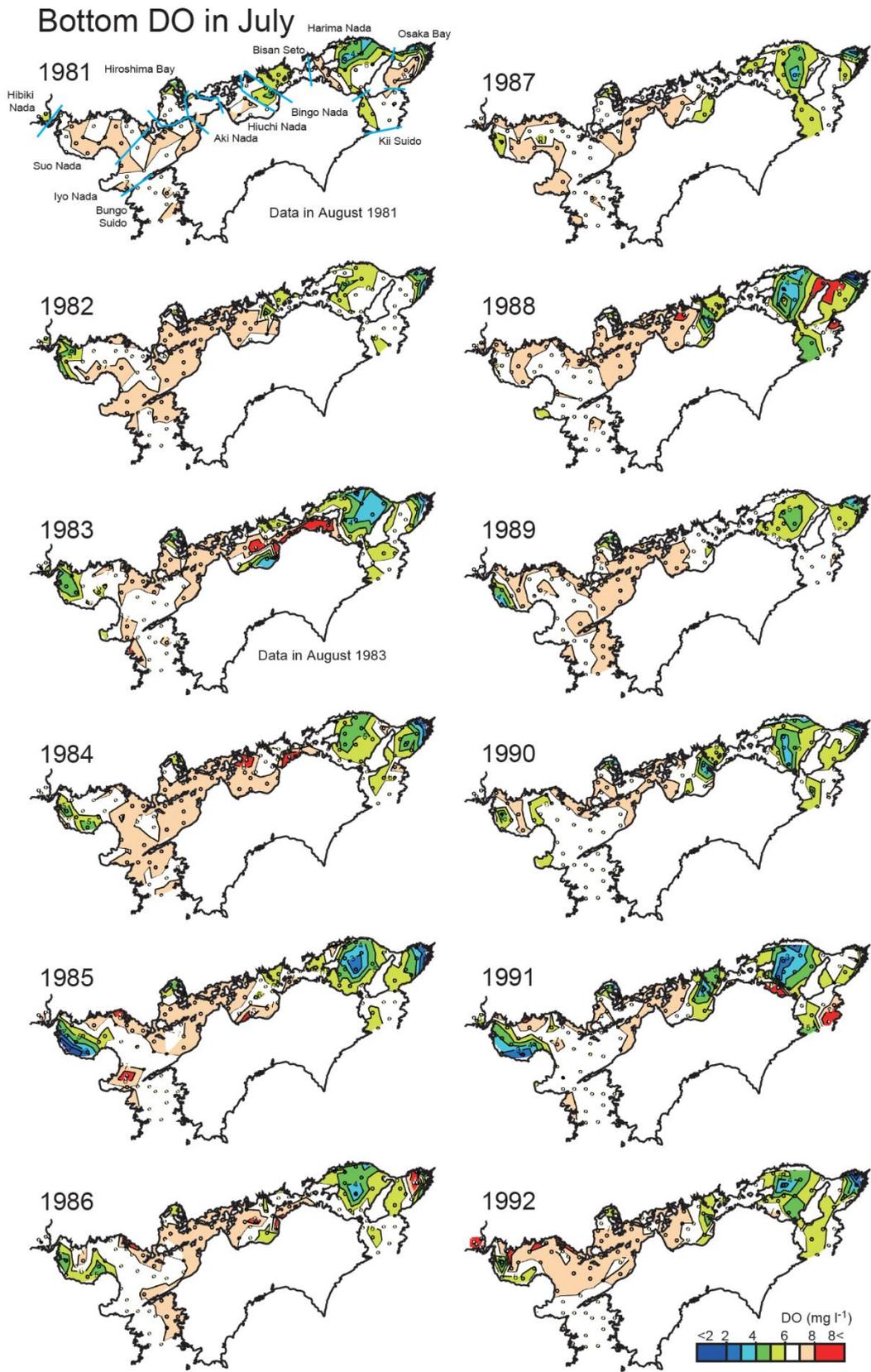


Fig. 14a. Spatial distribution of bottom DO in July in the Seto Inland Sea from 1981 to 1992. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

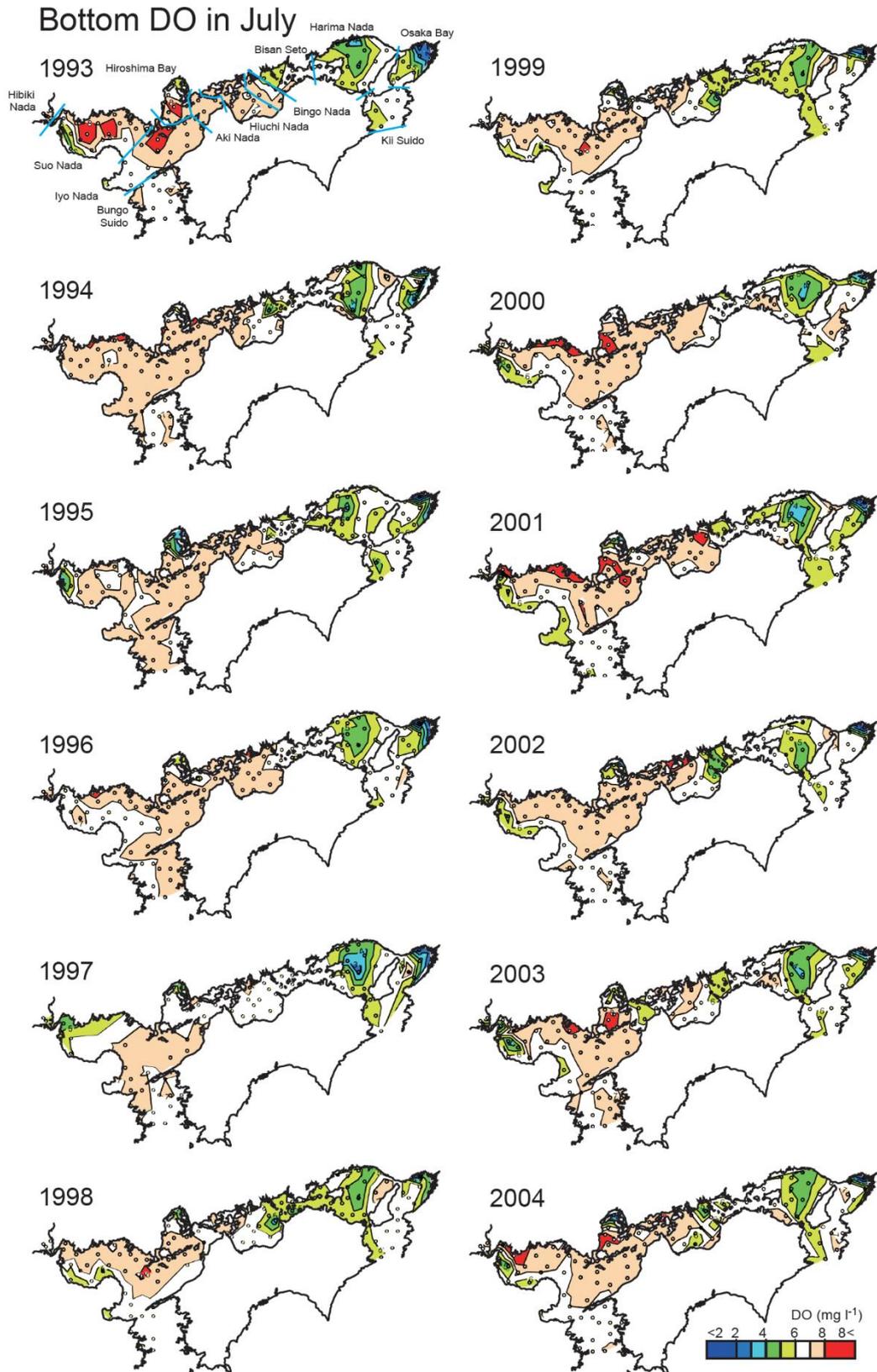


Fig. 14b. Spatial distribution of bottom DO in July in the Seto Inland Sea from 1993 to 2004. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

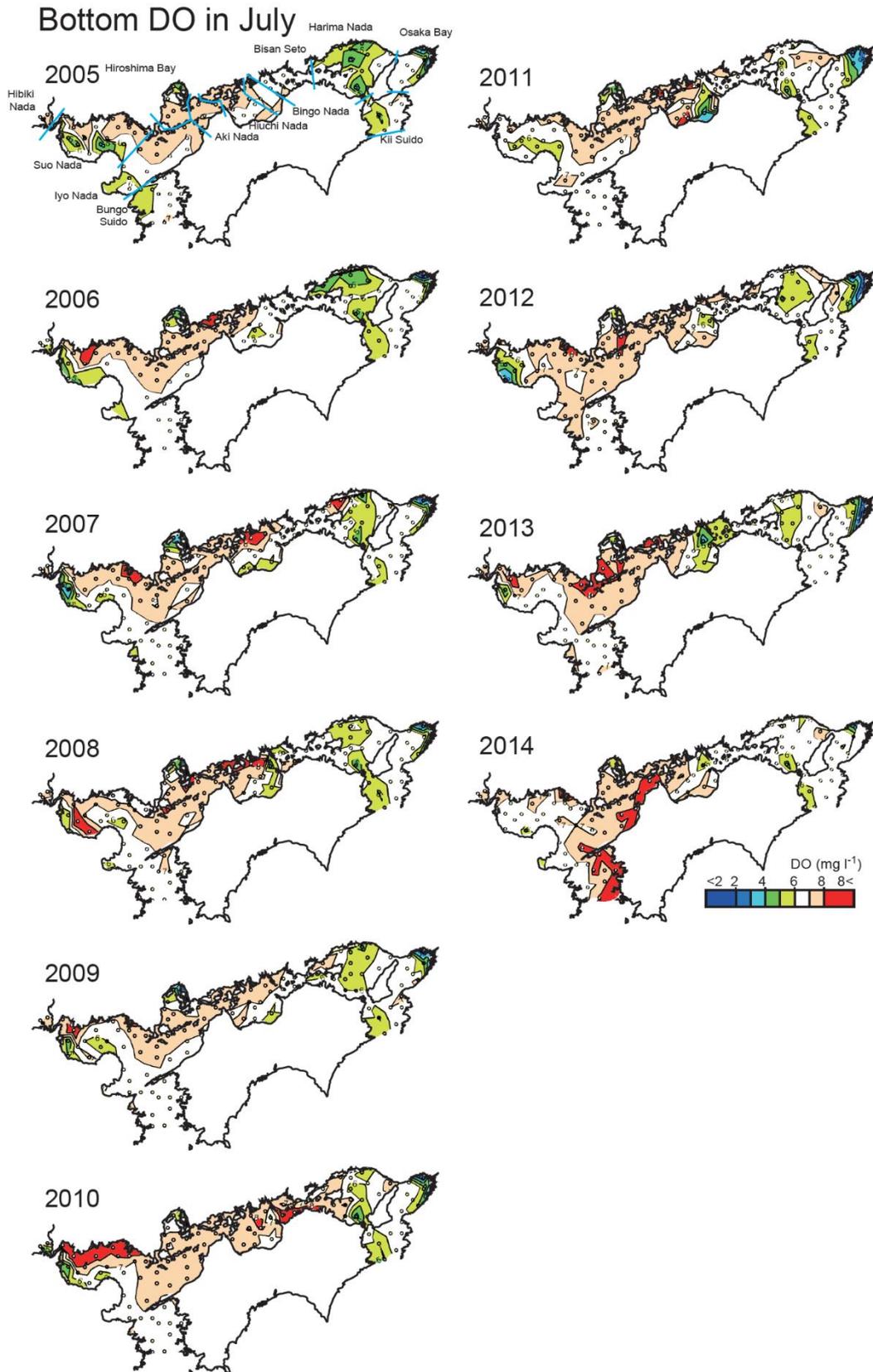


Fig. 14c. Spatial distribution of bottom DO in July in the Seto Inland Sea from 2005 to 2014. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

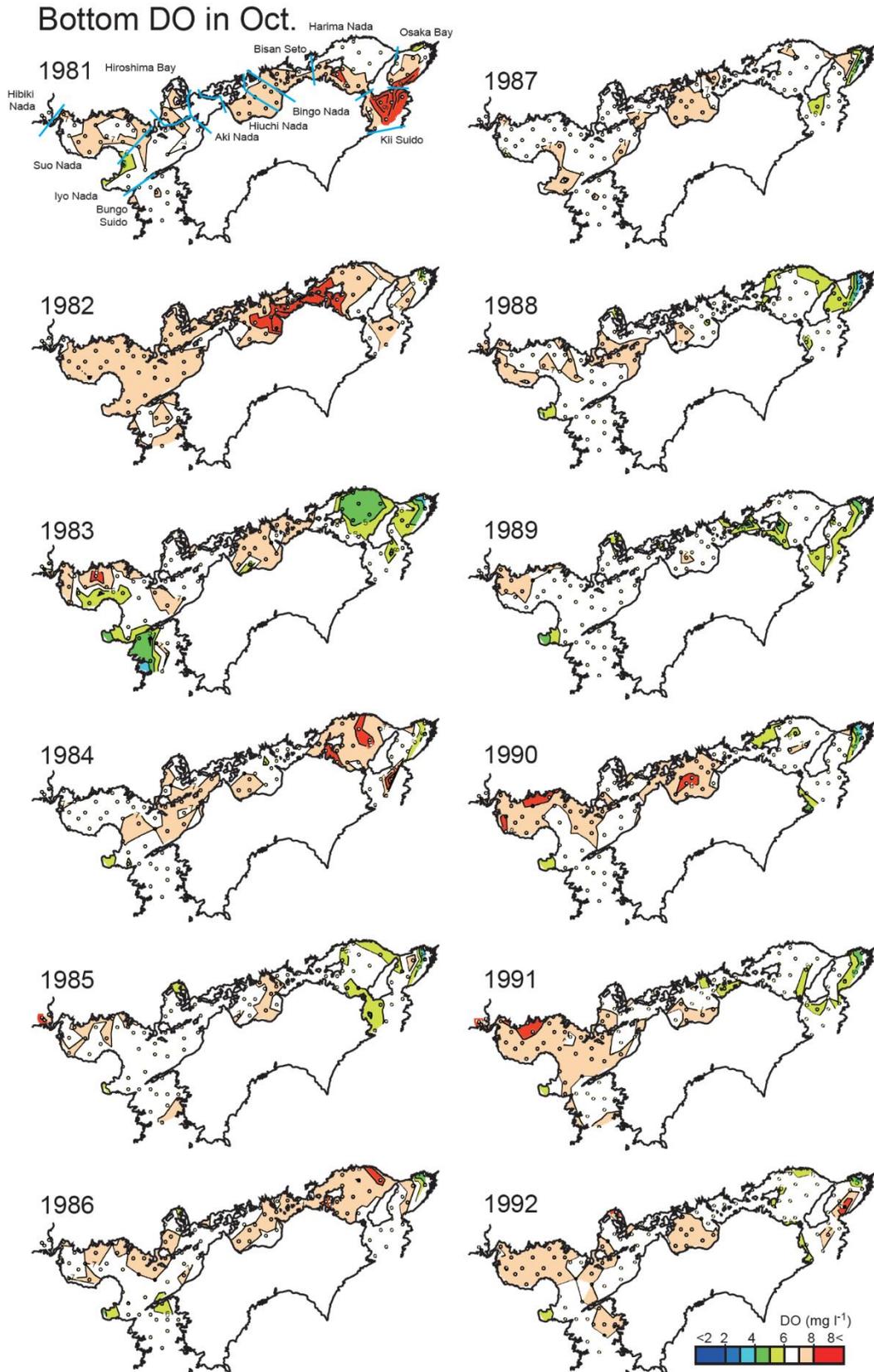


Fig. 15a. Spatial distribution of bottom DO in October in the Seto Inland Sea from 1981 to 1992. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

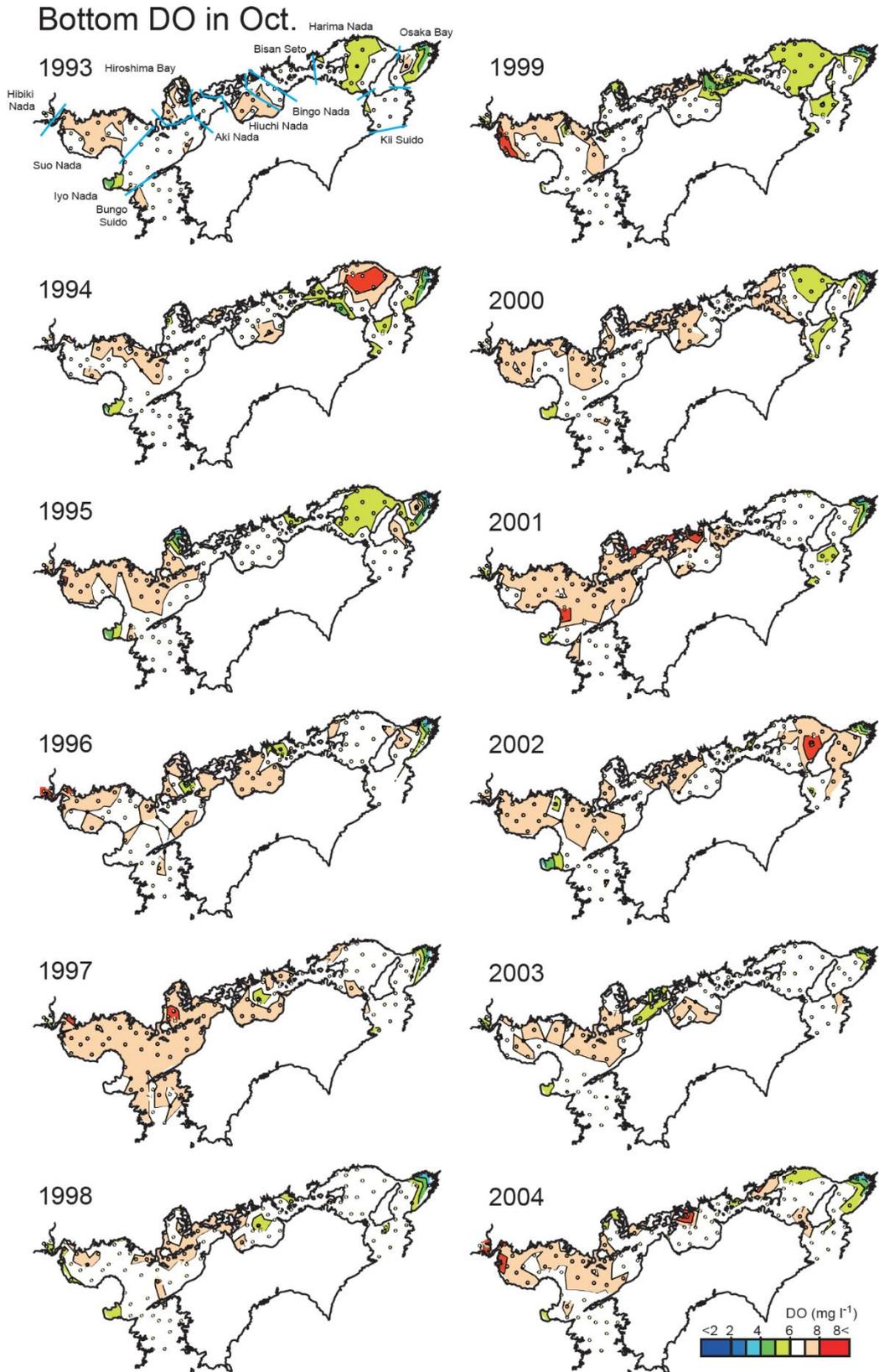


Fig. 15b. Spatial distribution of bottom DO in October in the Seto Inland Sea from 1993 to 2004. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

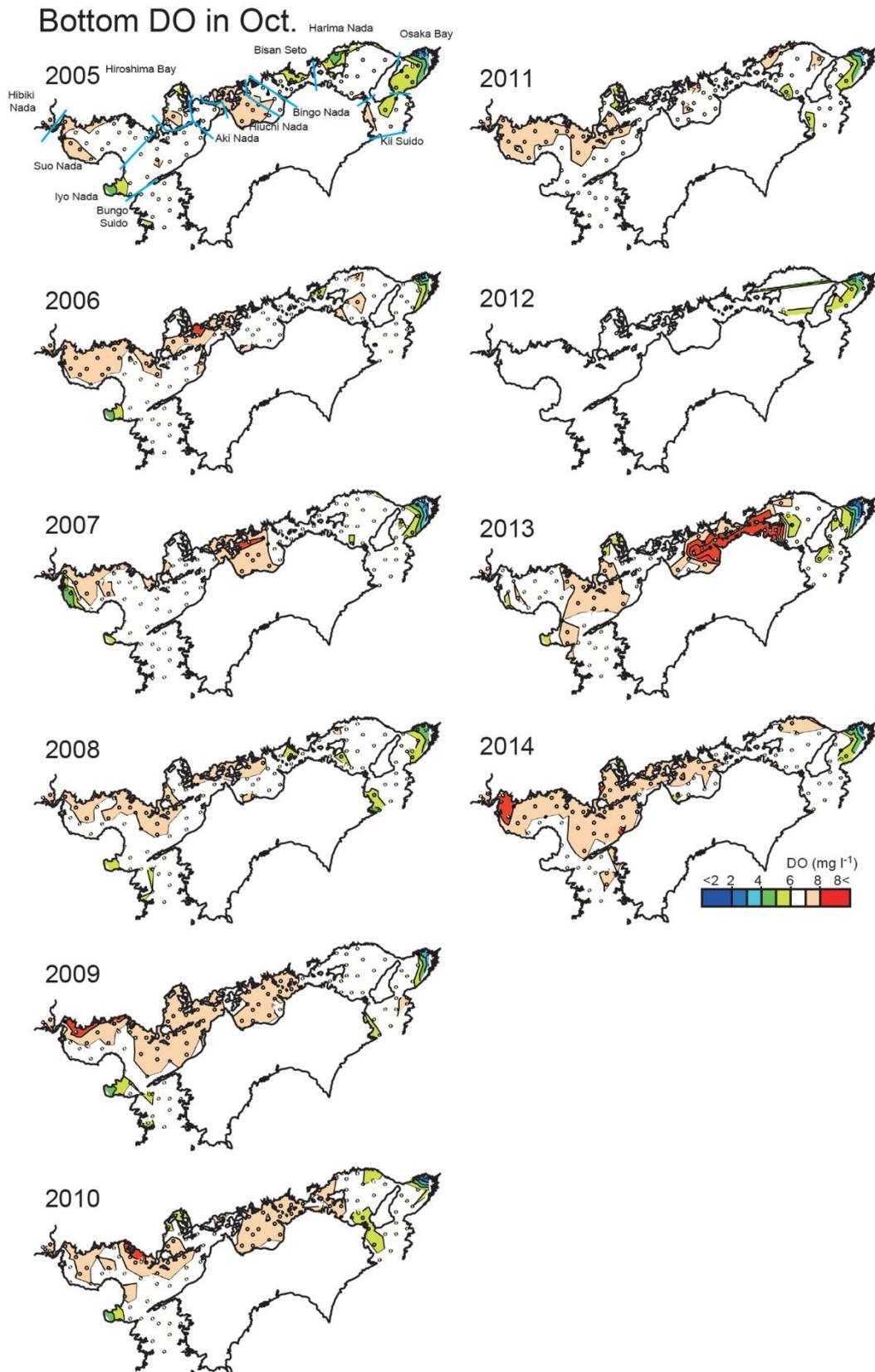


Fig. 15c. Spatial distribution of bottom DO in October in the Seto Inland Sea from 2005 to 2014. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

Bottom water temperature - bottom DO in Osaka Bay

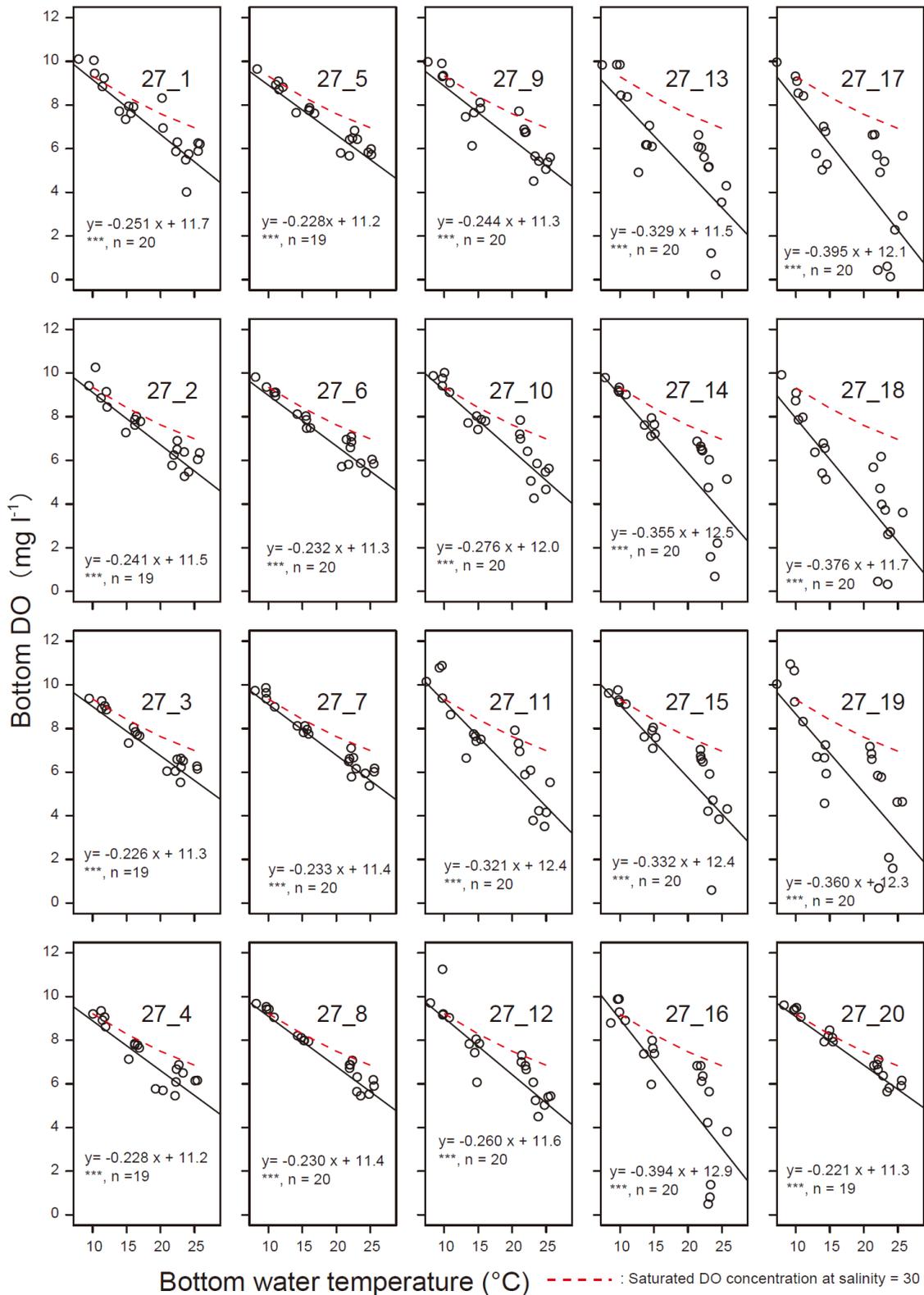


Fig. 16. Relationship between bottom water temperature and bottom DO at 20 stations in Osaka Bay. Data are from the Senkai Teisen Suishitsu Chosa survey conducted from 2010 to 2014. The black line is the linear regression line. *** $p < 0.0001$ for Pearson's correlation coefficient. The broken red line indicates the saturated DO concentration at each water temperature (the salinity was assumed to be 30).

Bottom water temperature - bottom DO in Harima Nada

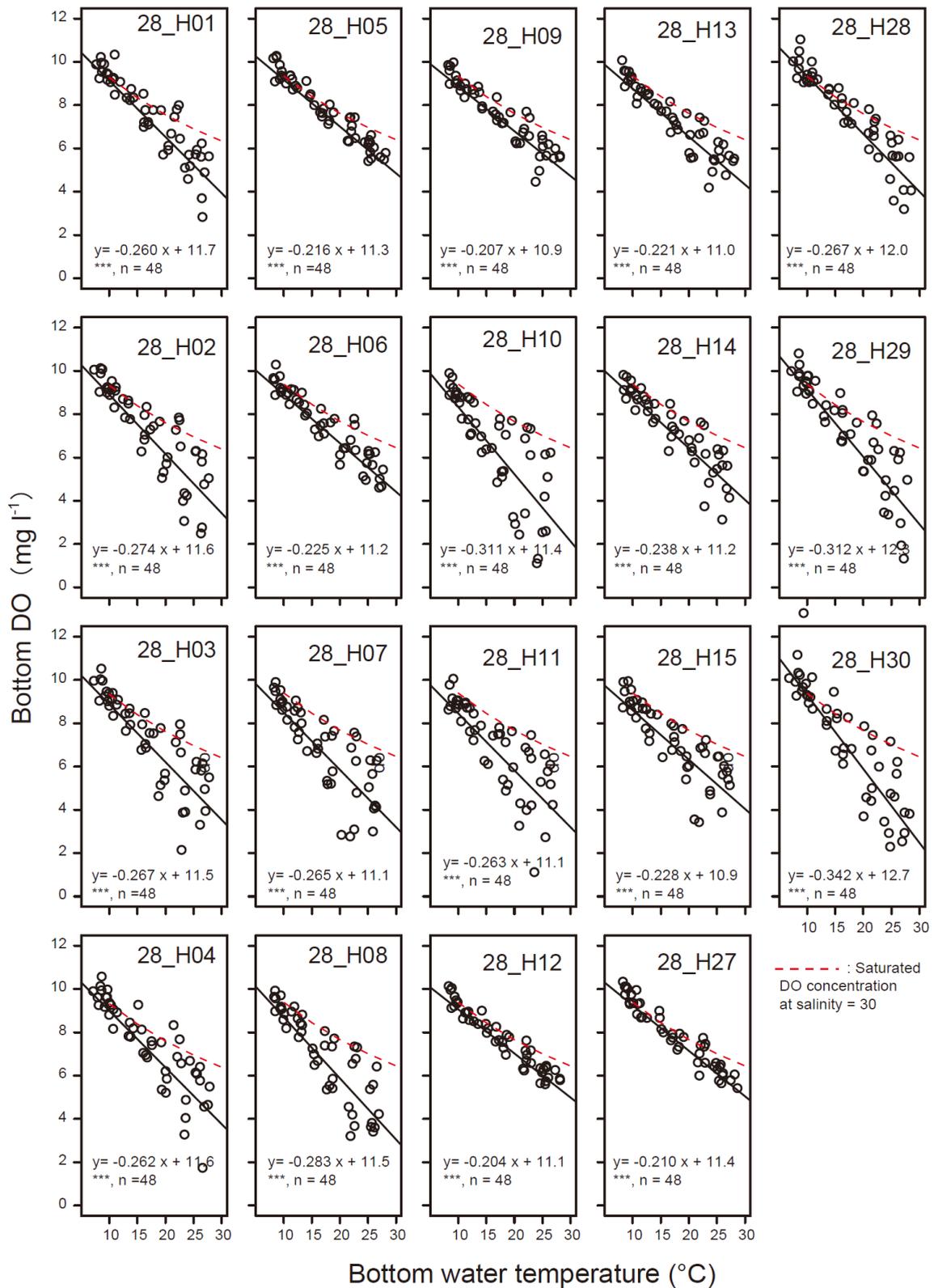


Fig. 17. Relationship between bottom water temperature and bottom DO at 19 stations in Harima Nada. Data are from the Senkai Teisen Suishitsu Chosa survey conducted from 2010 to 2014. The black line is the linear regression line. *** $p < 0.0001$ for Pearson's correlation coefficient. The broken red line indicates the saturated DO concentration at each water temperature (the salinity was assumed to be 30).

Surface water chl. a in January

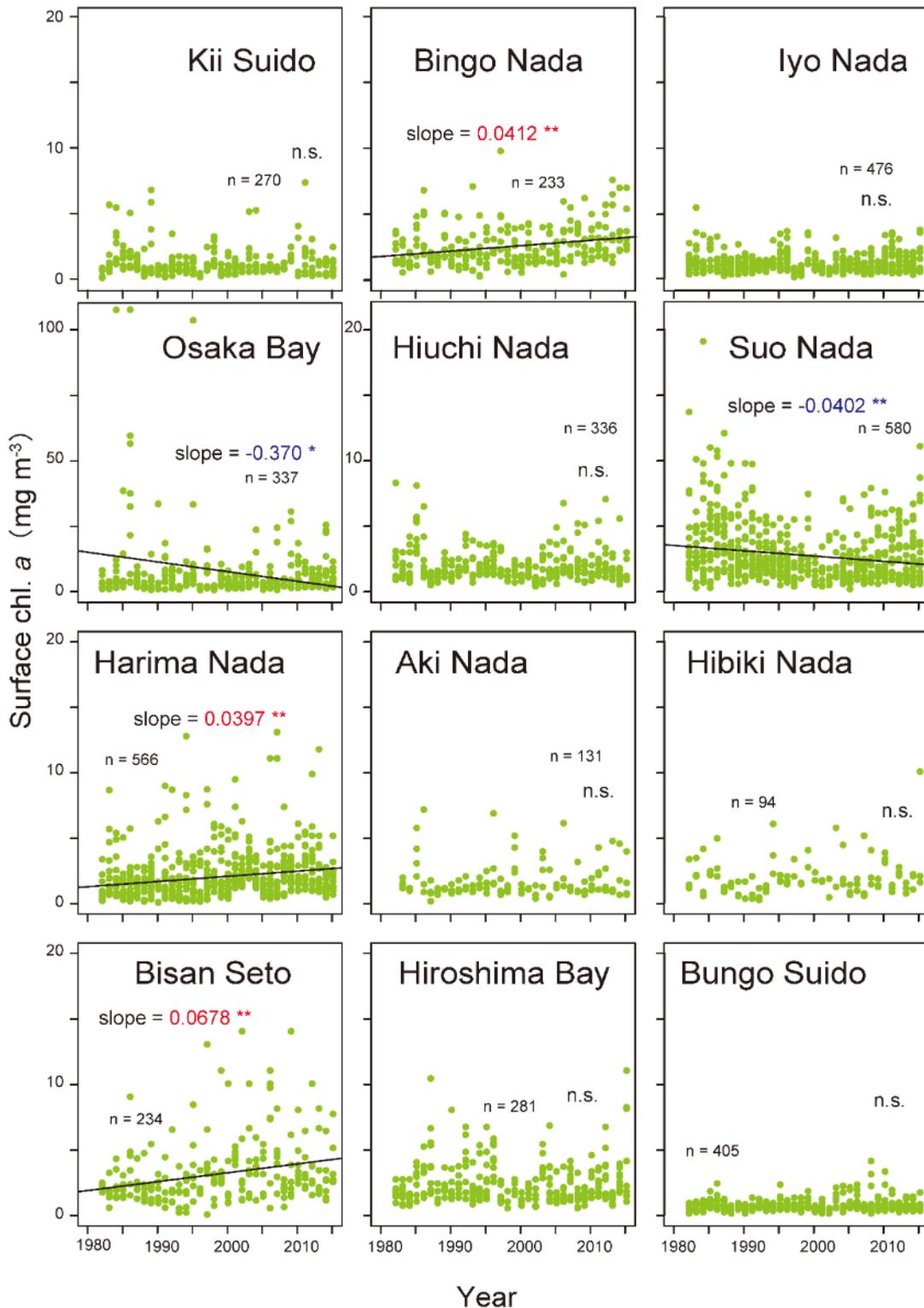


Fig. 18a. Long-term changes in the surface chlorophyll *a* concentration in January, in 12 areas of the Seto Inland Sea from 1981 to 2015. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment. The slope of the linear regression (black line), using year as an explanatory variable, is shown in each panel with *p*-values (* *p* < 0.05, ** *p* < 0.0001, n.s. *p* > 0.05) for the Pearson's correlation coefficients. Red and blue are positive and negative correlations, respectively.

Bottom water chl. a in January

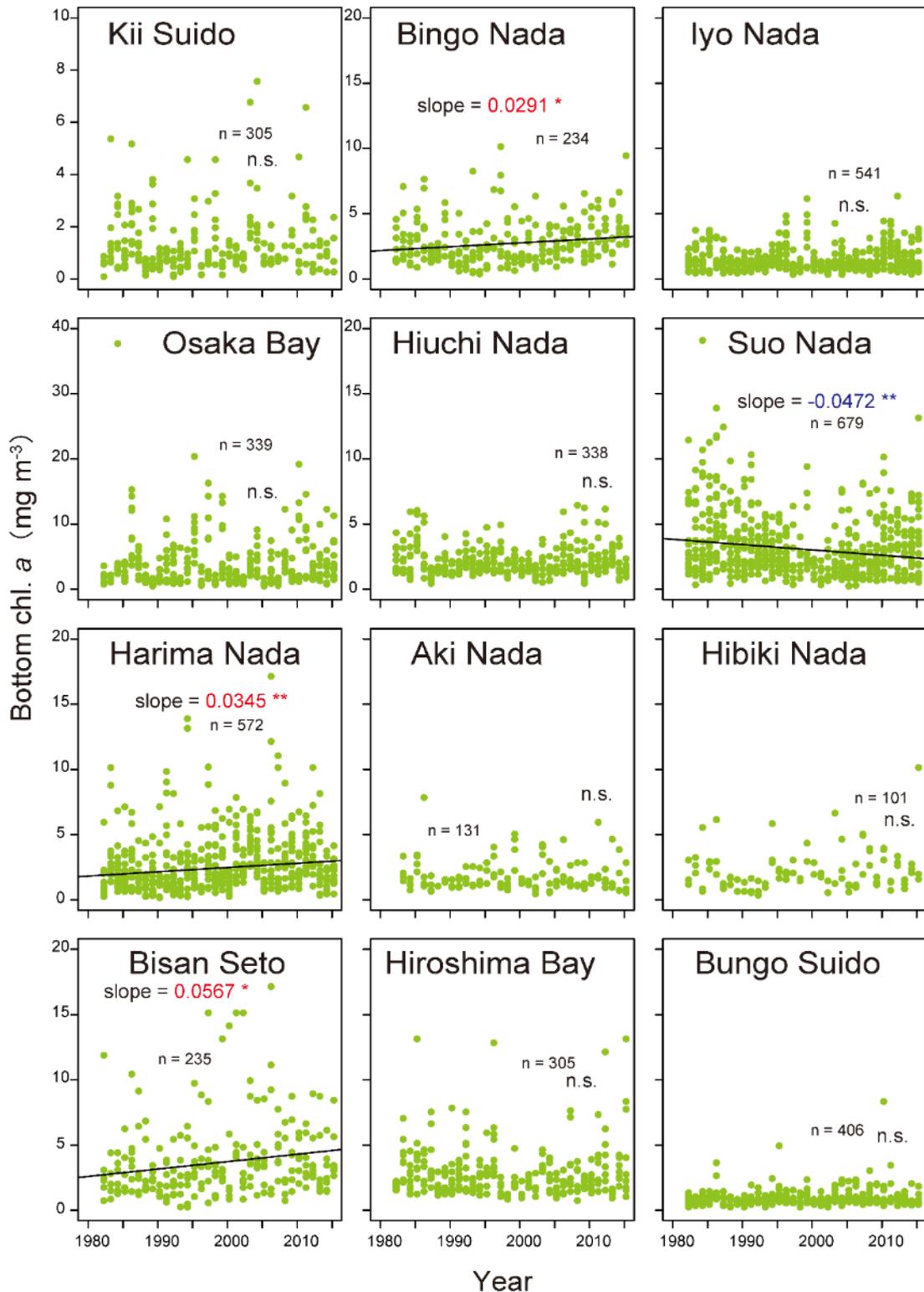


Fig. 18b. Long-term changes in the bottom chlorophyll *a* concentration in January, in 12 areas of the Seto Inland Sea from 1981 to 2015. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment. The slope of the linear regression (black line), using year as an explanatory variable, is shown in each panel with *p*-values (* $p < 0.05$, ** $p < 0.0001$, n.s. $p > 0.05$) for the Pearson's correlation coefficients. Red and blue are positive and negative correlations, respectively.

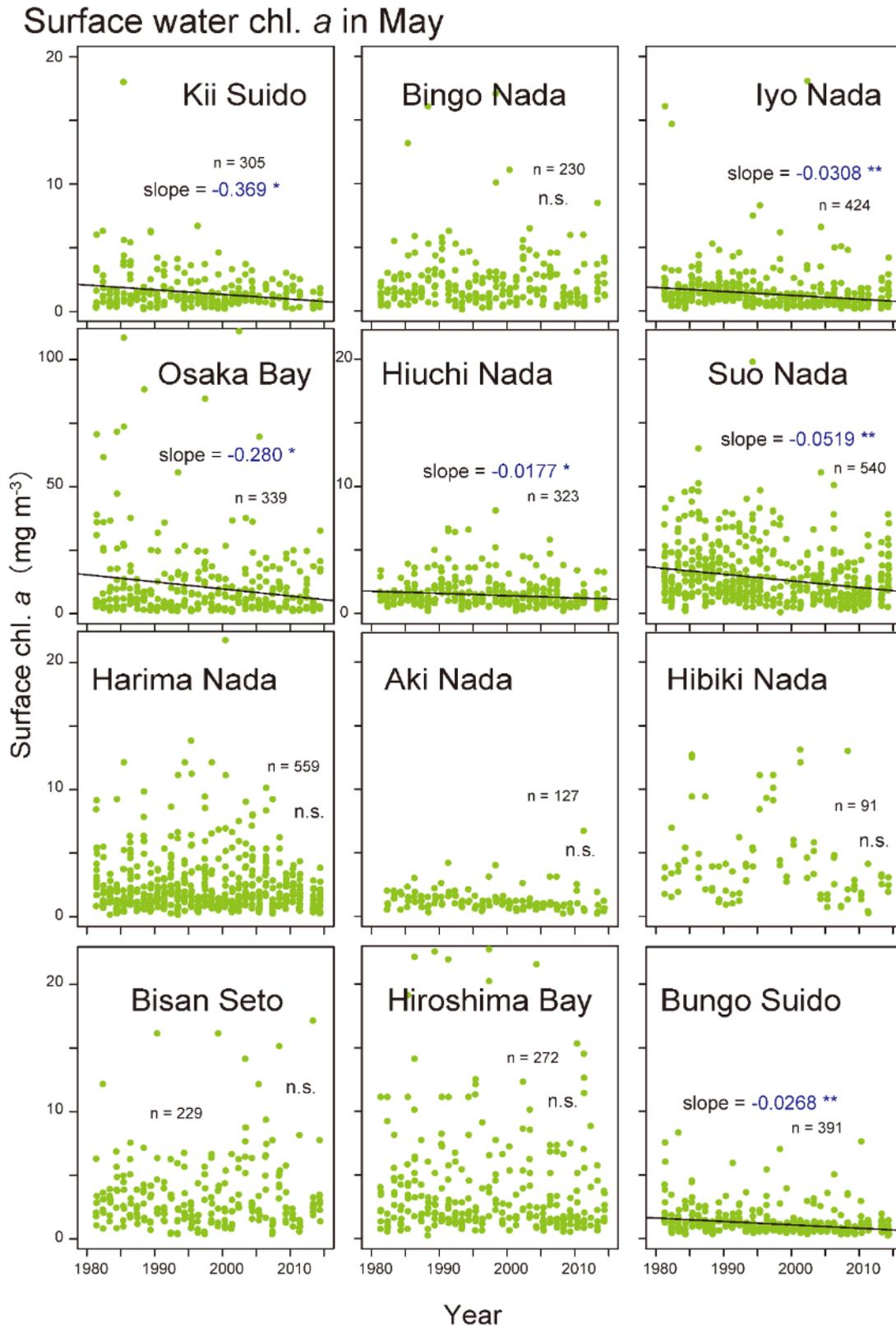


Fig. 18c. Long-term changes in the surface chlorophyll *a* concentration in May, in 12 areas of the Seto Inland Sea from 1981 to 2015. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

The slope of the linear regression (black line), using year as an explanatory variable, is shown in each panel with *p*-values (* $p < 0.05$, ** $p < 0.0001$, n.s. $p > 0.05$) for the Pearson's correlation coefficients. Red and blue are positive and negative correlations, respectively.

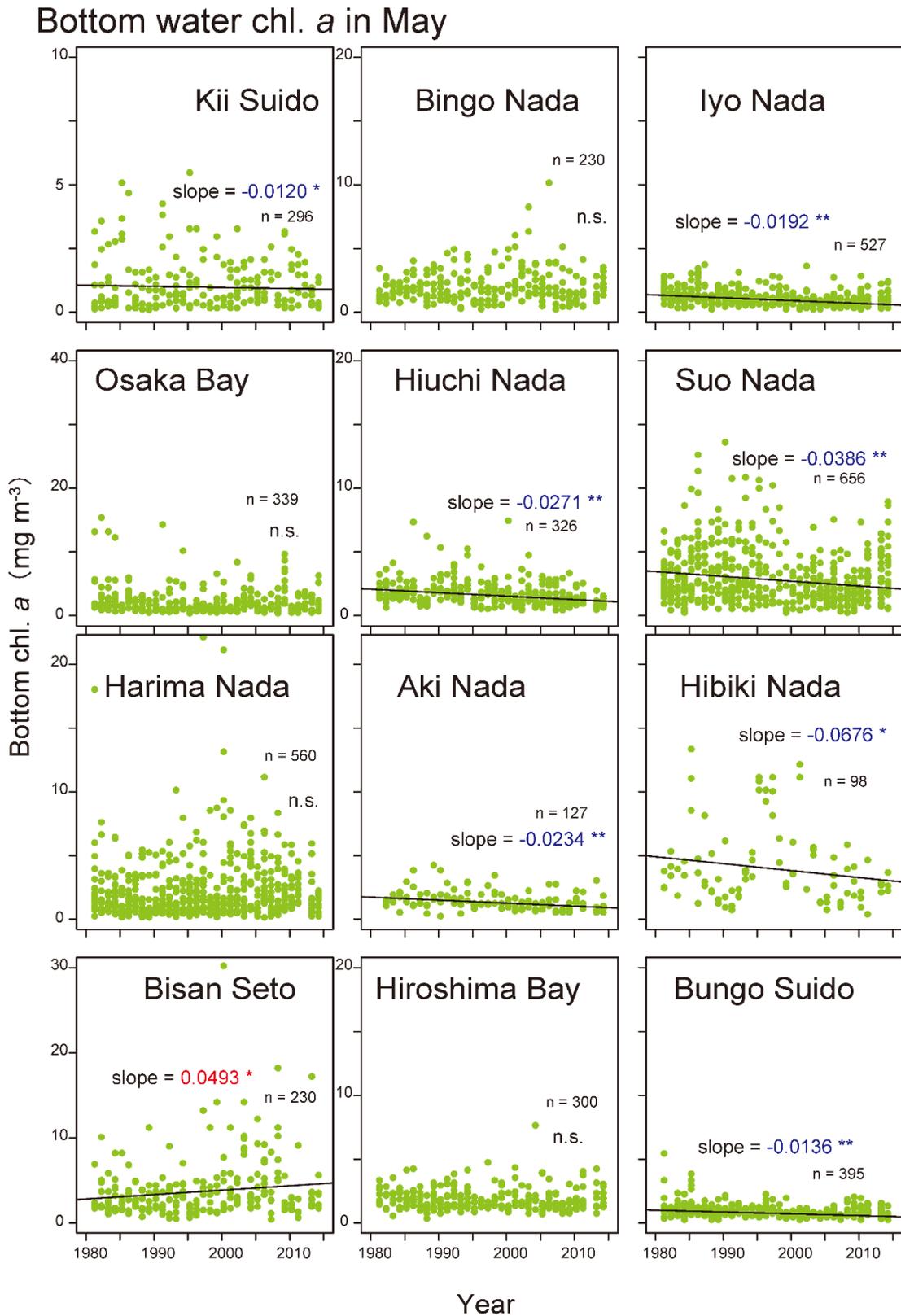


Fig. 18d. Long-term changes in the bottom chlorophyll *a* concentration in May, in 12 areas of the Seto Inland Sea from 1981 to 2015. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

The slope of the linear regression (black line), using year as an explanatory variable, is shown in each panel with *p*-values (* *p* < 0.05, ** *p* < 0.0001, n.s. *p* > 0.05) for the Pearson's correlation coefficients. Red and blue are positive and negative correlations, respectively.

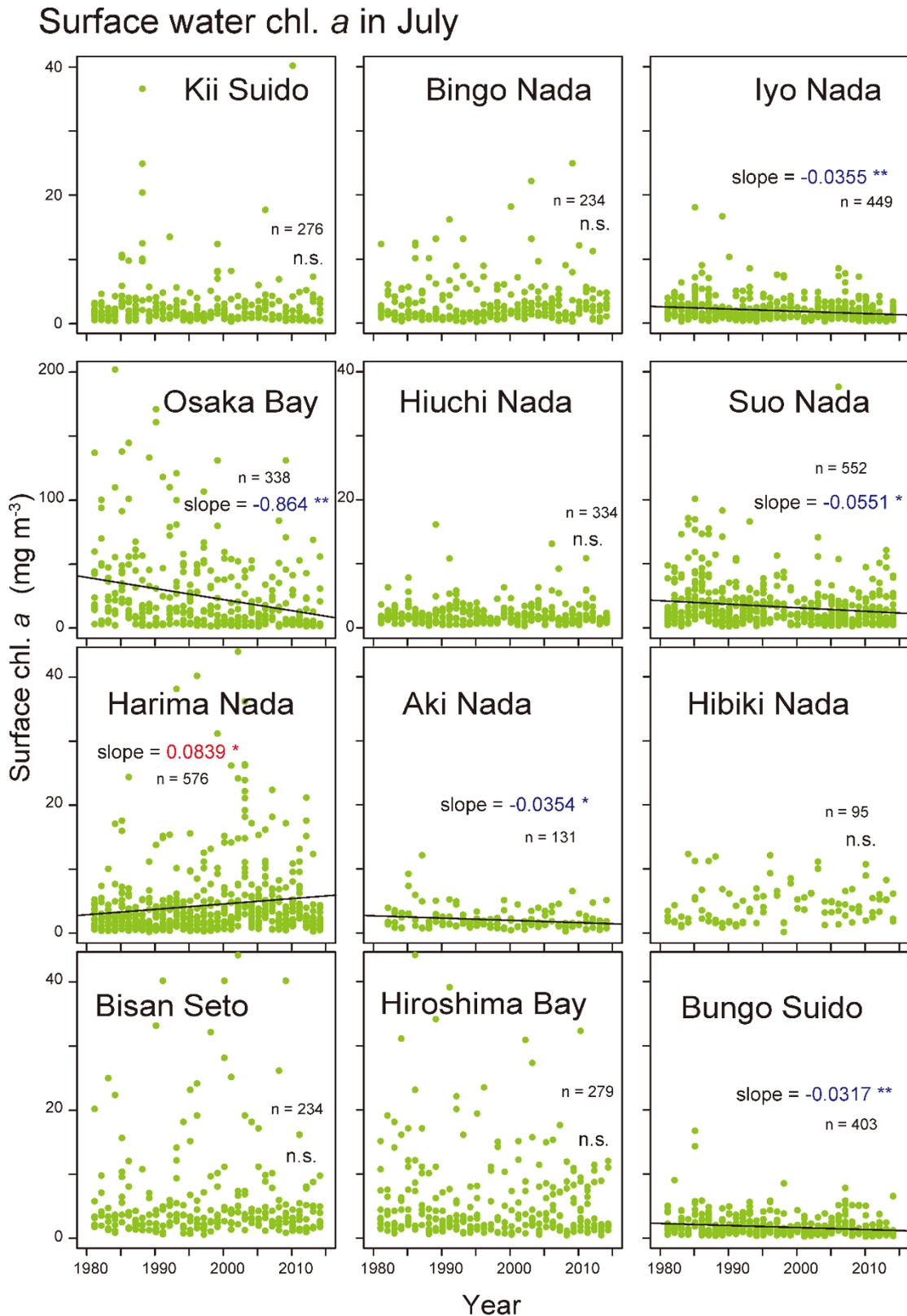


Fig. 18e. Long-term changes in the surface chlorophyll *a* concentration in July, in 12 areas of the Seto Inland Sea from 1981 to 2015. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

The slope of the linear regression (black line), using year as an explanatory variable, is shown in each panel with *p*-values (* $p < 0.05$, ** $p < 0.0001$, n.s. $p > 0.05$) for the Pearson's correlation coefficients. Red and blue are positive and negative correlations, respectively.

Bottom water chl. a in July

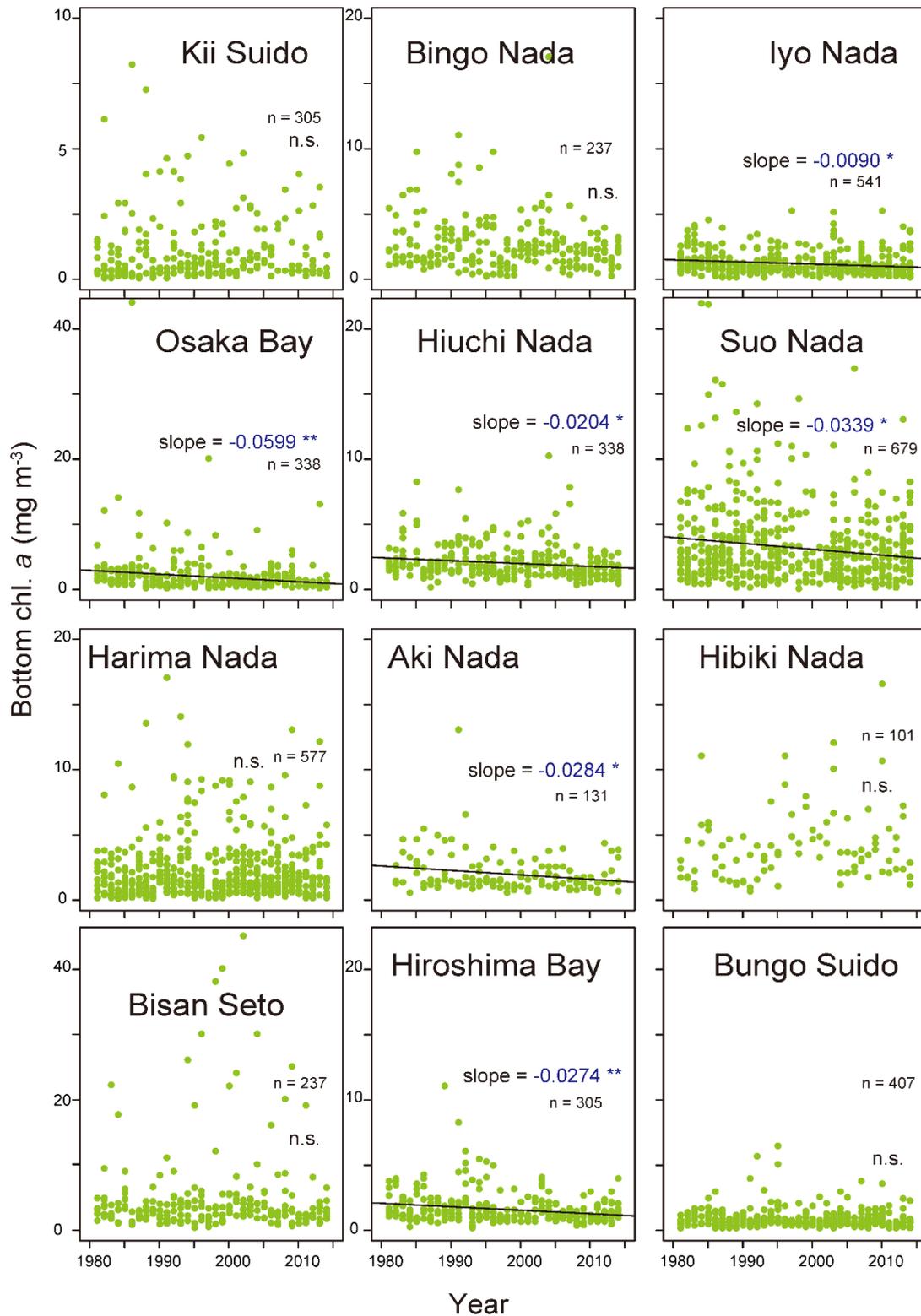


Fig. 18f. Long-term changes in the bottom chlorophyll *a* concentration in July, in 12 areas of the Seto Inland Sea from 1981 to 2015. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

The slope of the linear regression (black line), using year as an explanatory variable, is shown in each panel with *p*-values (* *p* < 0.05, ** *p* < 0.0001, n.s. *p* > 0.05) for the Pearson's correlation coefficients. Red and blue are positive and negative correlations, respectively.

Surface water chl. *a* in Oct.

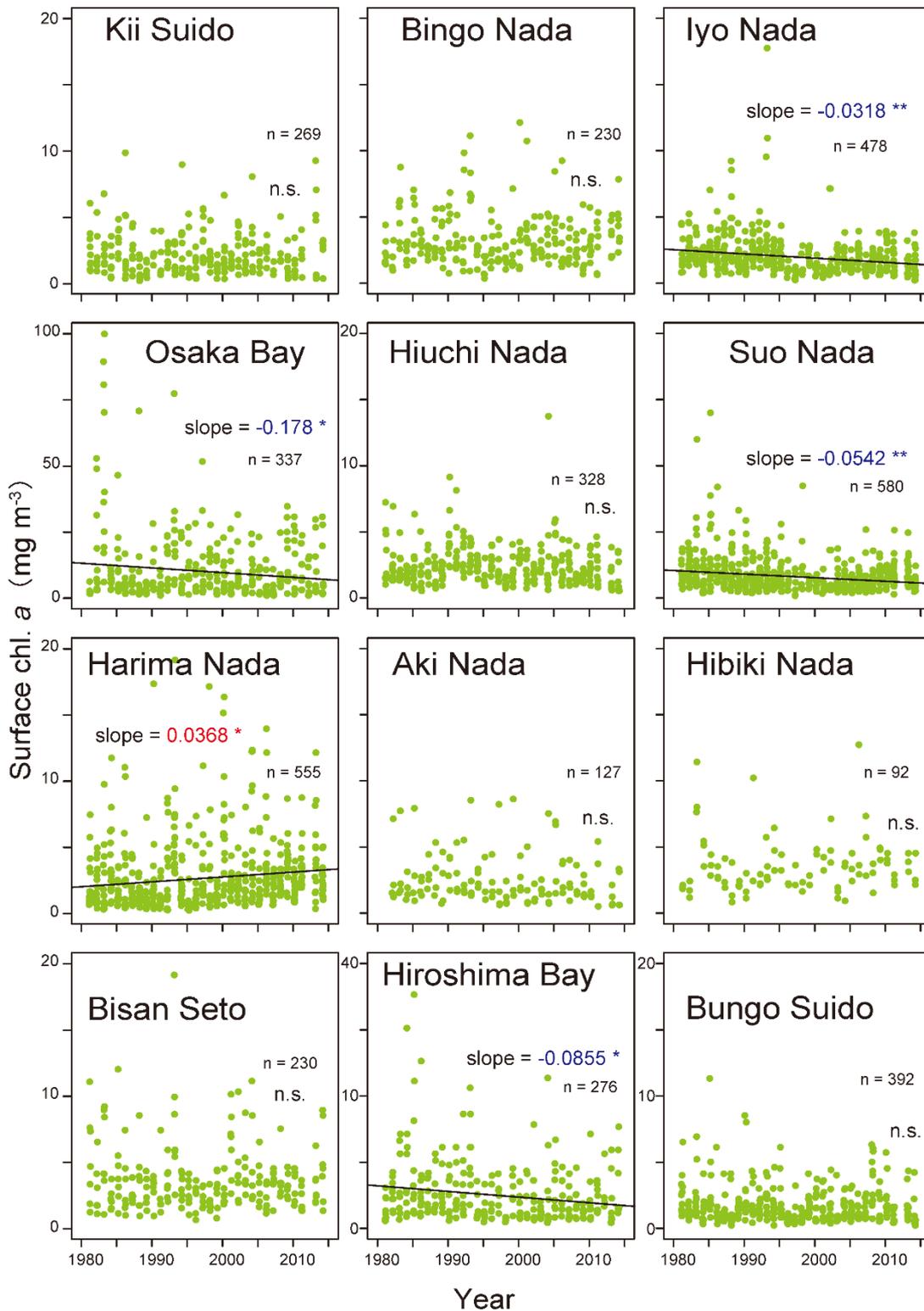


Fig. 18g. Long-term changes in the surface chlorophyll *a* concentration in October, in 12 areas of the Seto Inland Sea from 1981 to 2015. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment. The slope of the linear regression (black line), using year as an explanatory variable, is shown in each panel with *p*-values (* *p* < 0.05, ** *p* < 0.0001, n.s. *p* > 0.05) for the Pearson's correlation coefficients. Red and blue are positive and negative correlations, respectively.

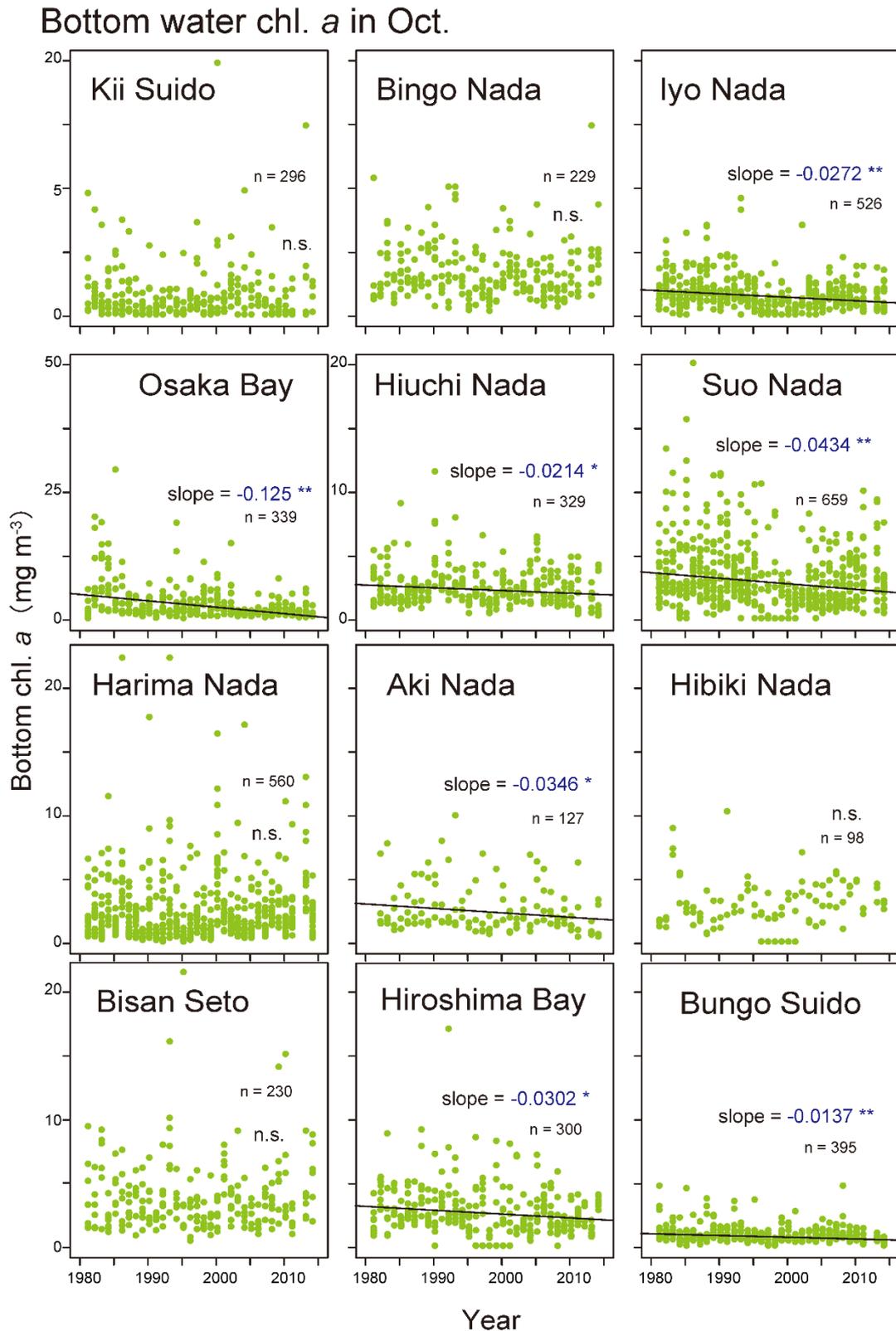
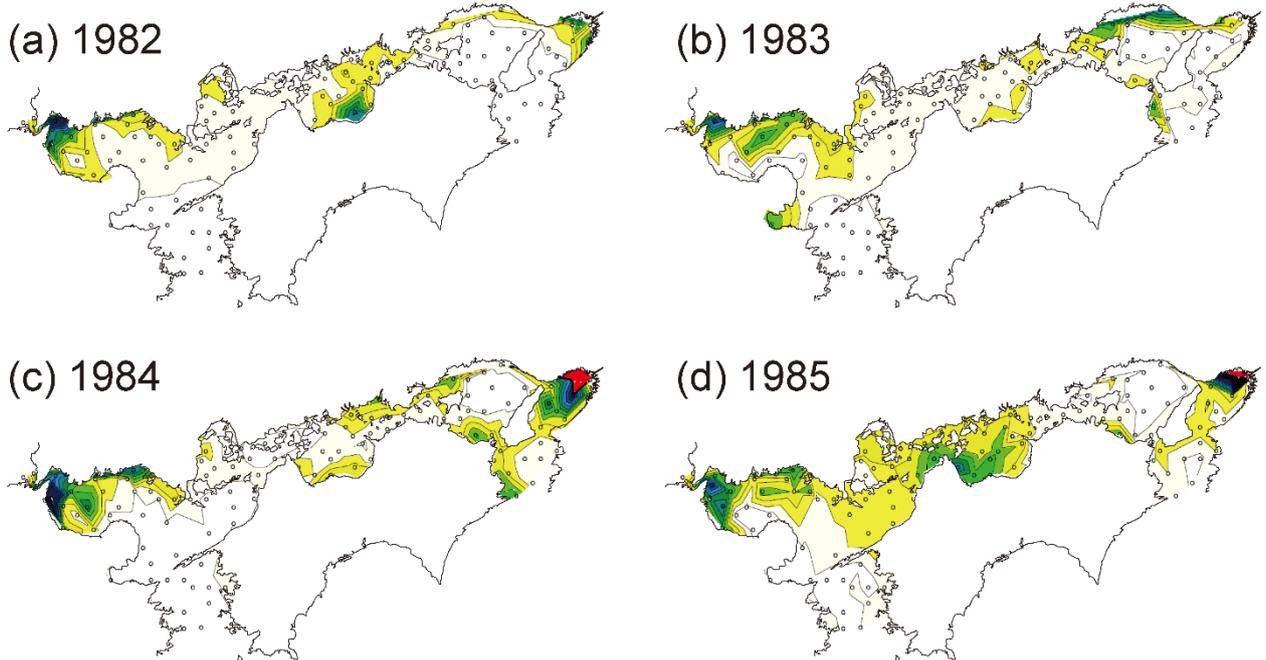


Fig. 18h. Long-term changes in the bottom chlorophyll *a* concentration in October, in 12 areas of the Seto Inland Sea from 1981 to 2015. Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment. The slope of the linear regression (black line), using year as an explanatory variable, is shown in each panel with *p*-values (* $p < 0.05$, ** $p < 0.0001$, n.s. $p > 0.05$) for the Pearson's correlation coefficients. Red and blue are positive and negative correlations, respectively.

Surface water chl. a in Jan. (1982-1985)



Surface water chl. a in Jan. (1992-1995)

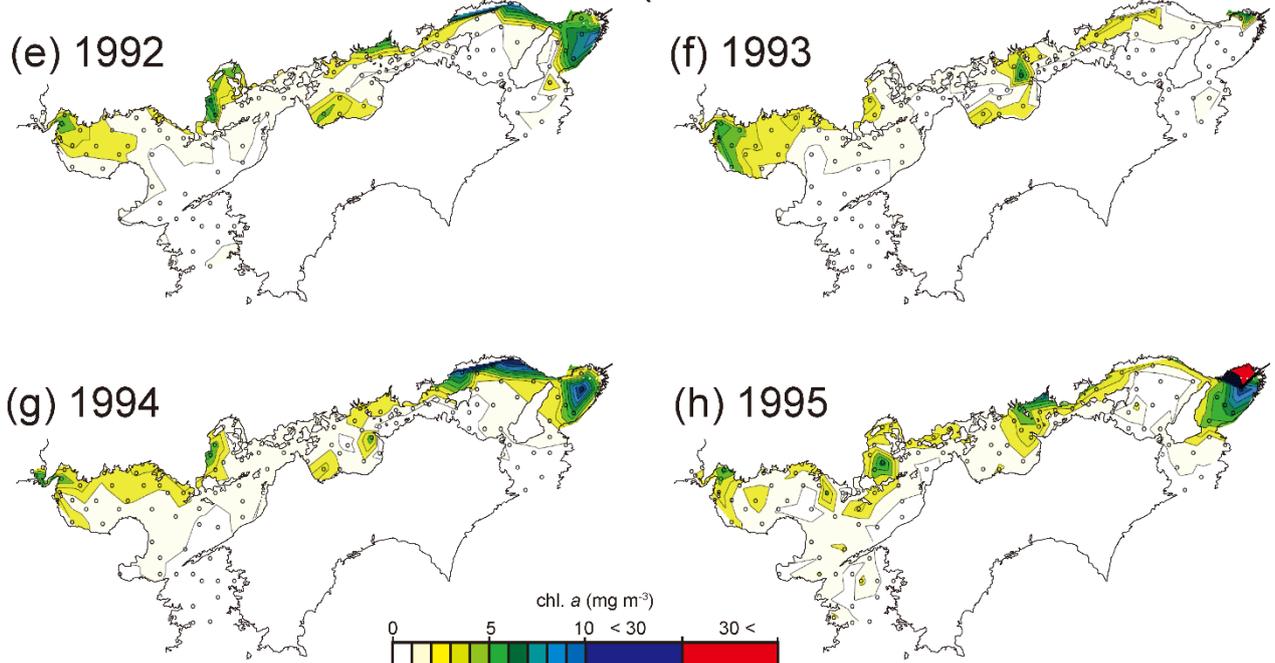
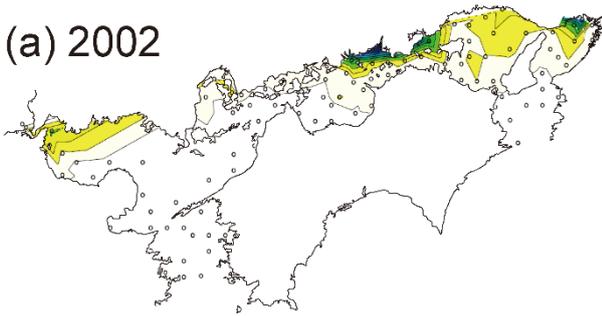


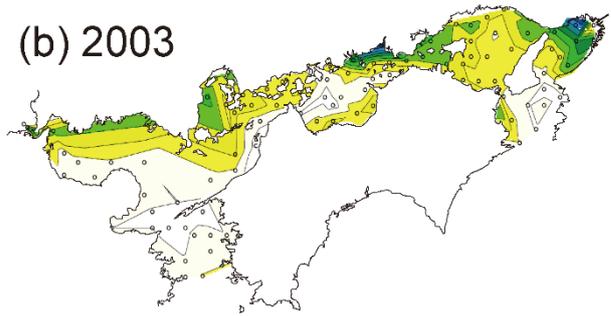
Fig. 19a. Spatial distribution of the surface chlorophyll *a* in January in the Seto Inland Sea from 1982 to 1985 (top) and 1992 to 1995 (bottom). Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

Surface water chl. a in Jan. (2002-2005)

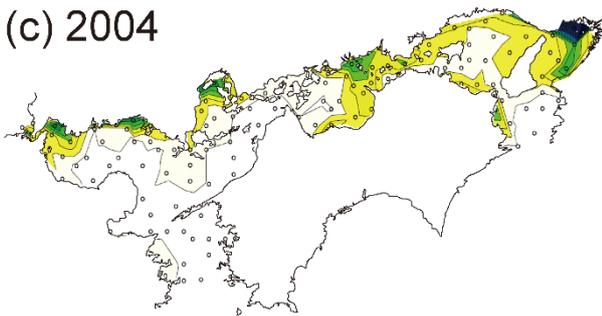
(a) 2002



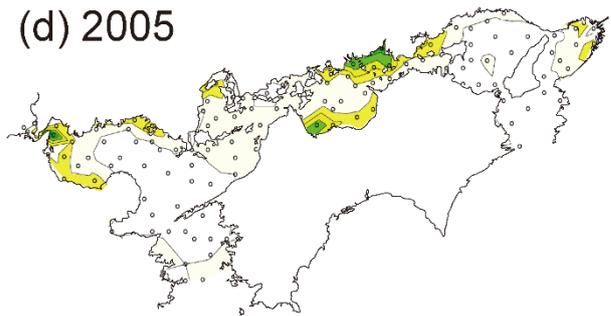
(b) 2003



(c) 2004

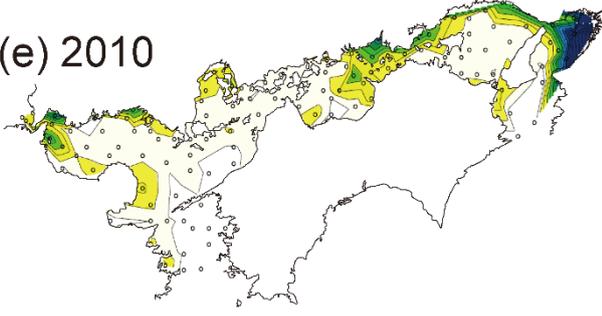


(d) 2005

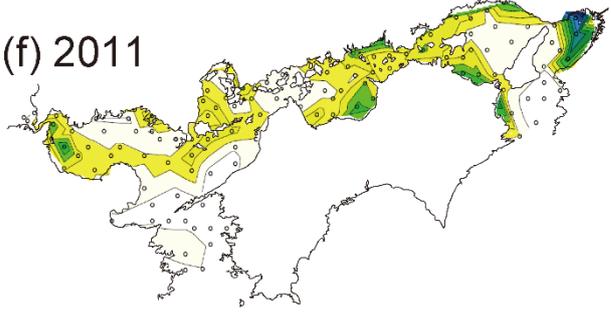


Surface water chl. a in Jan. (2010-2014)

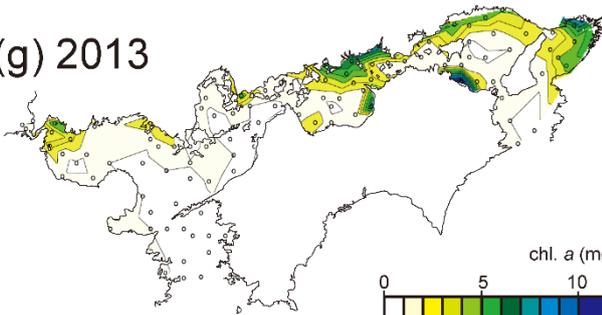
(e) 2010



(f) 2011



(g) 2013



(h) 2014

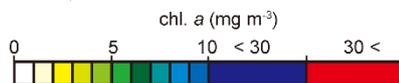
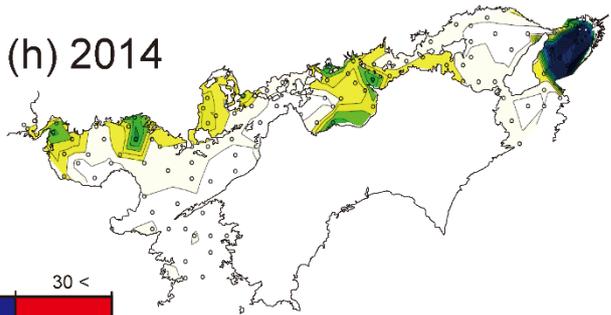
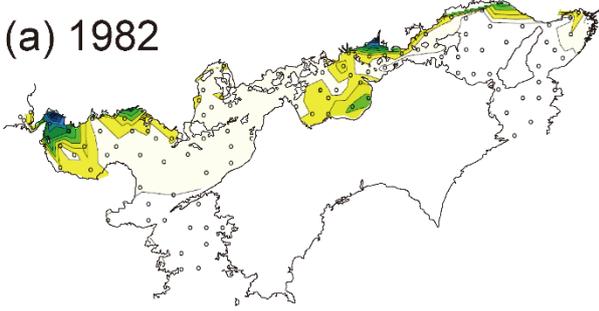


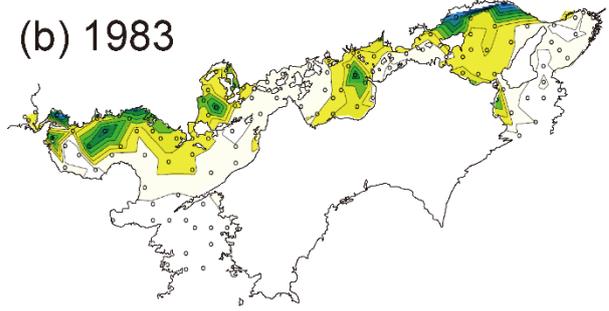
Fig. 19b. Spatial distribution of the surface chlorophyll *a* in January in the Seto Inland Sea from 2002 to 2005 (top) and 2010 to 2014 (bottom). Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

Bottom water chl. a in Jan. (1982-1985)

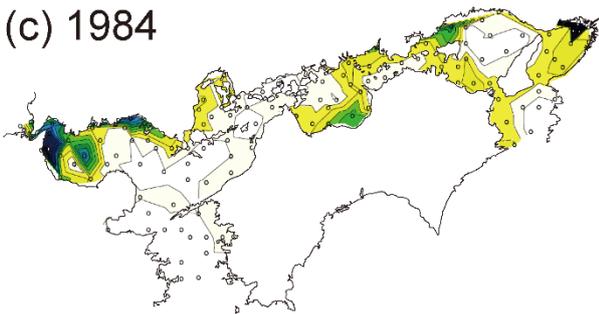
(a) 1982



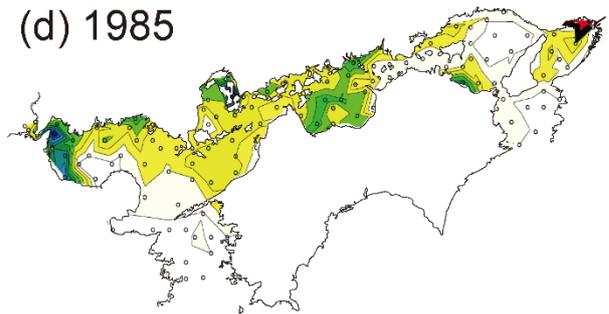
(b) 1983



(c) 1984

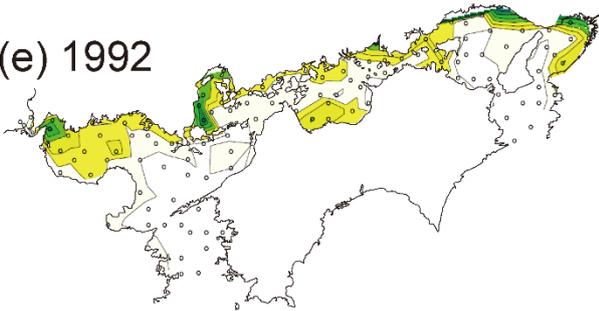


(d) 1985

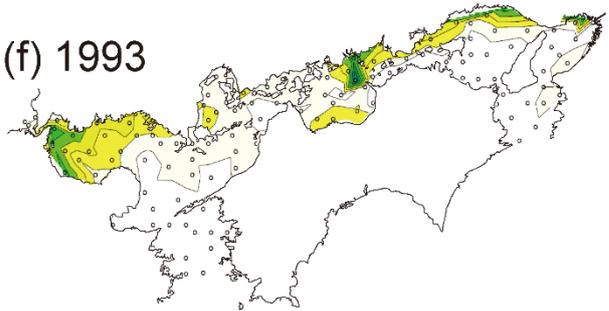


Bottom water chl. a in Jan. (1992-1995)

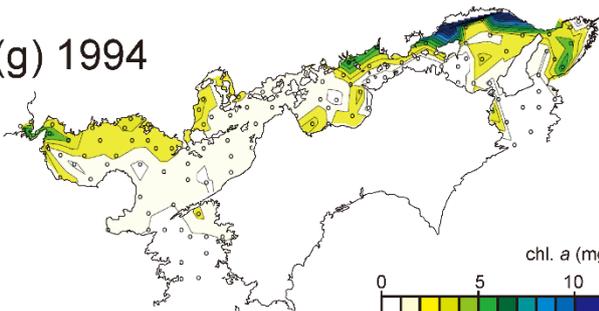
(e) 1992



(f) 1993



(g) 1994



(h) 1995

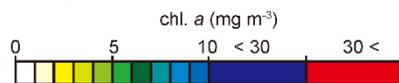
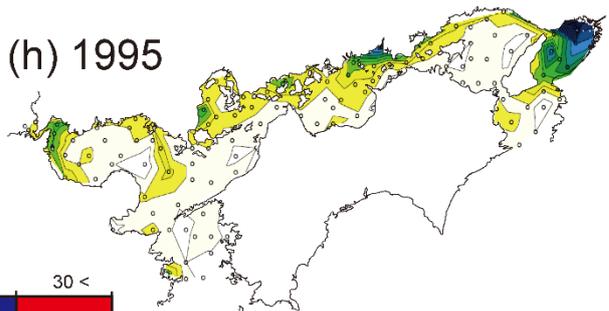
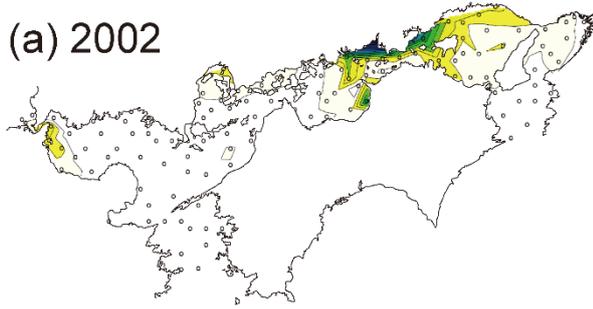


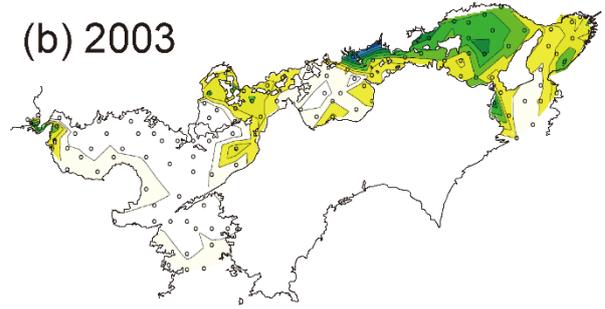
Fig. 19c. Spatial distribution of the bottom chlorophyll *a* in January in the Seto Inland Sea from 1982 to 1985 (top) and 1992 to 1995 (bottom). Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

Bottom water chl. *a* in Jan. (2002-2005)

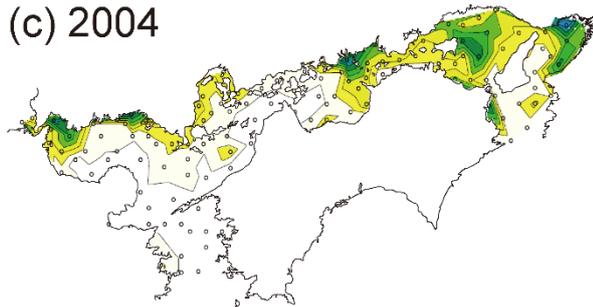
(a) 2002



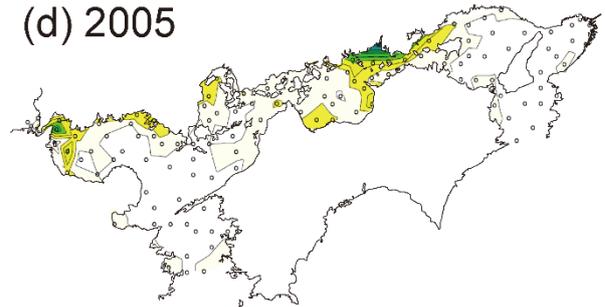
(b) 2003



(c) 2004

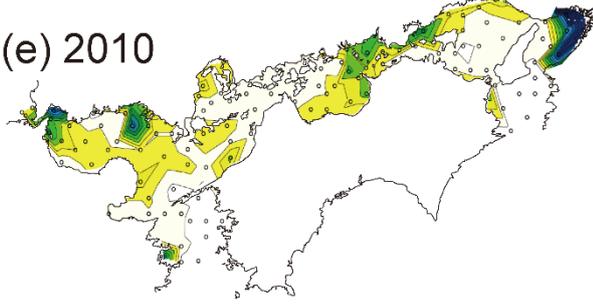


(d) 2005

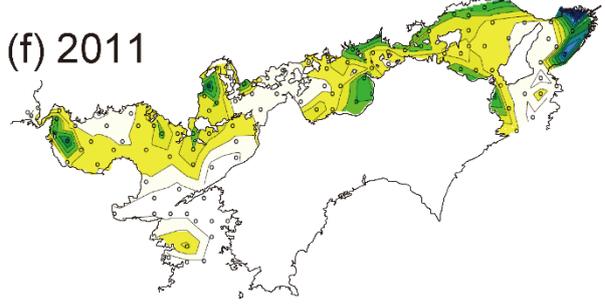


Bottom water chl. *a* in Jan. (2010-2014)

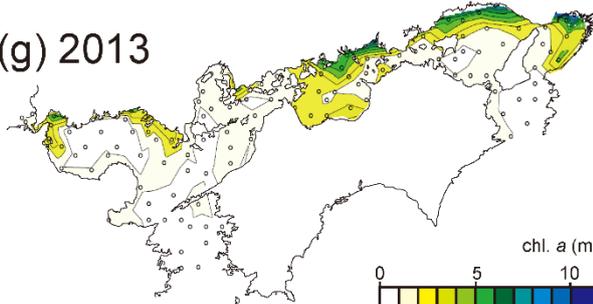
(e) 2010



(f) 2011



(g) 2013



(h) 2014

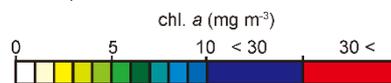
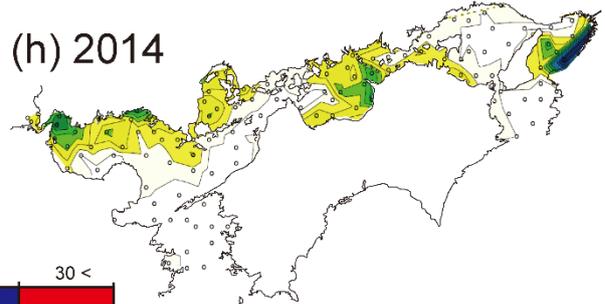
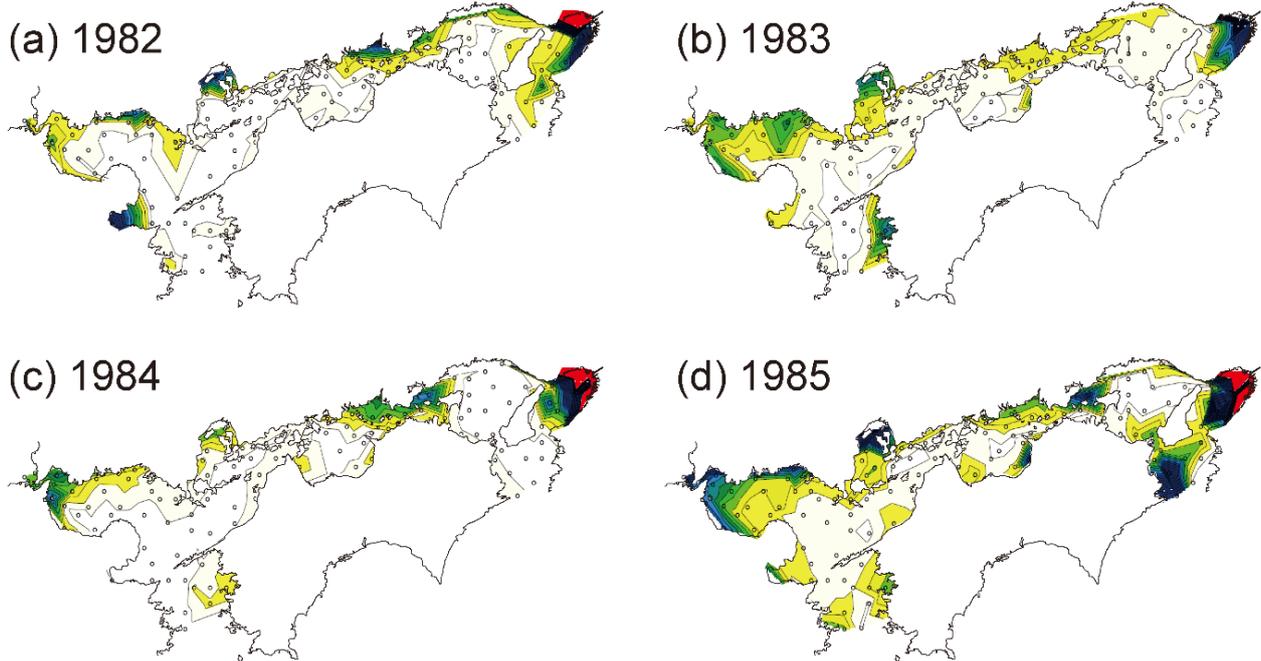


Fig. 19d. Spatial distribution of the bottom chlorophyll *a* in January in the Seto Inland Sea from 2002 to 2005 (top) and 2010 to 2014 (bottom). Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

Surface water chl. a in May (1982-1985)



Surface water chl. a in May (1992-1995)

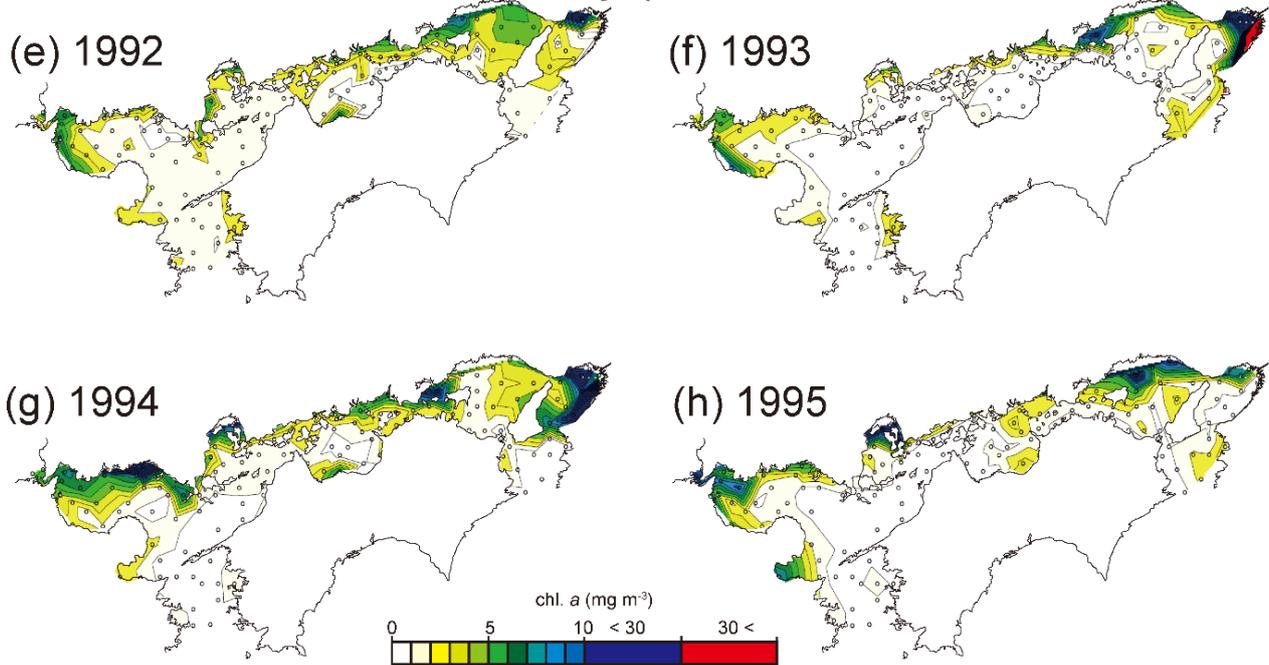
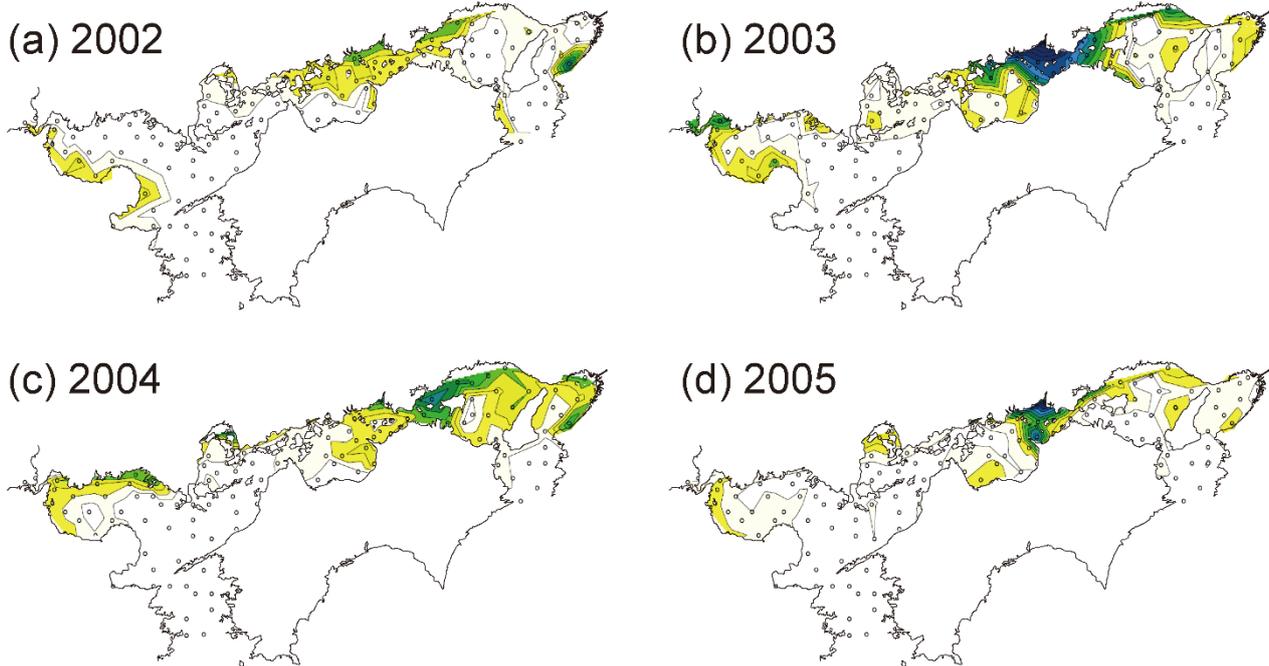


Fig. 20a. Spatial distribution of the surface chlorophyll *a* in May in the Seto Inland Sea from 1982 to 1985 (top) and 1992 to 1995 (bottom). Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

Surface water chl. *a* in May (2002-2005)



Surface water chl. *a* in May (2010-2014)

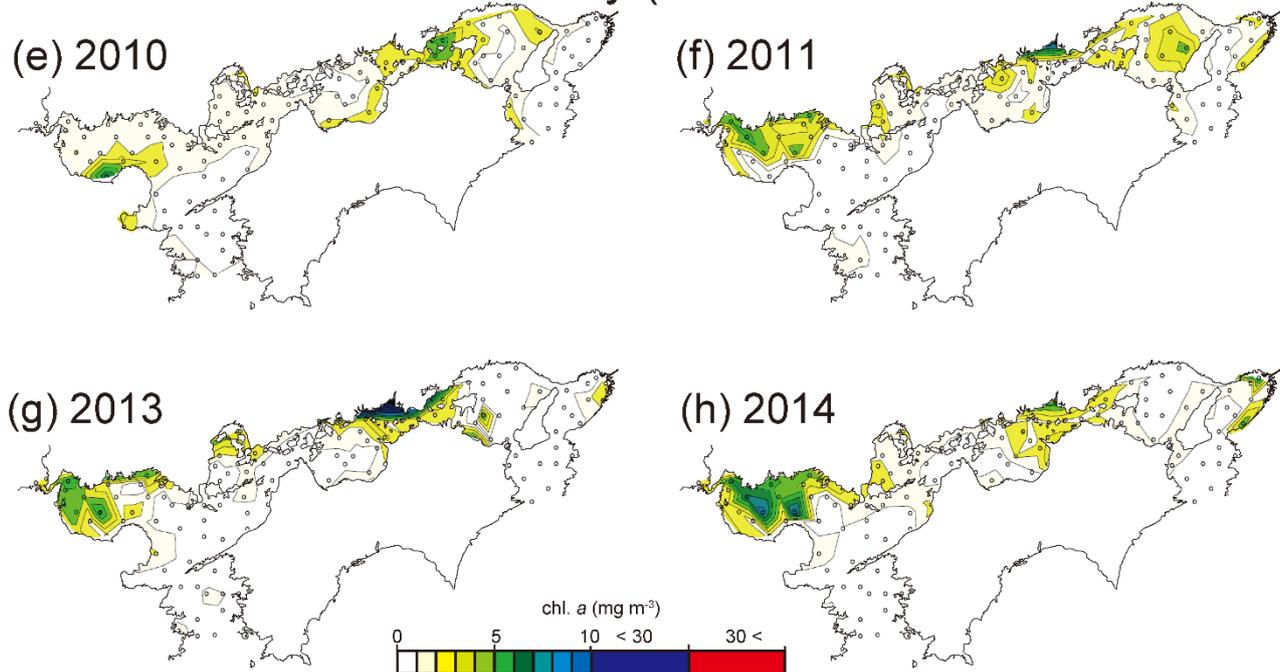
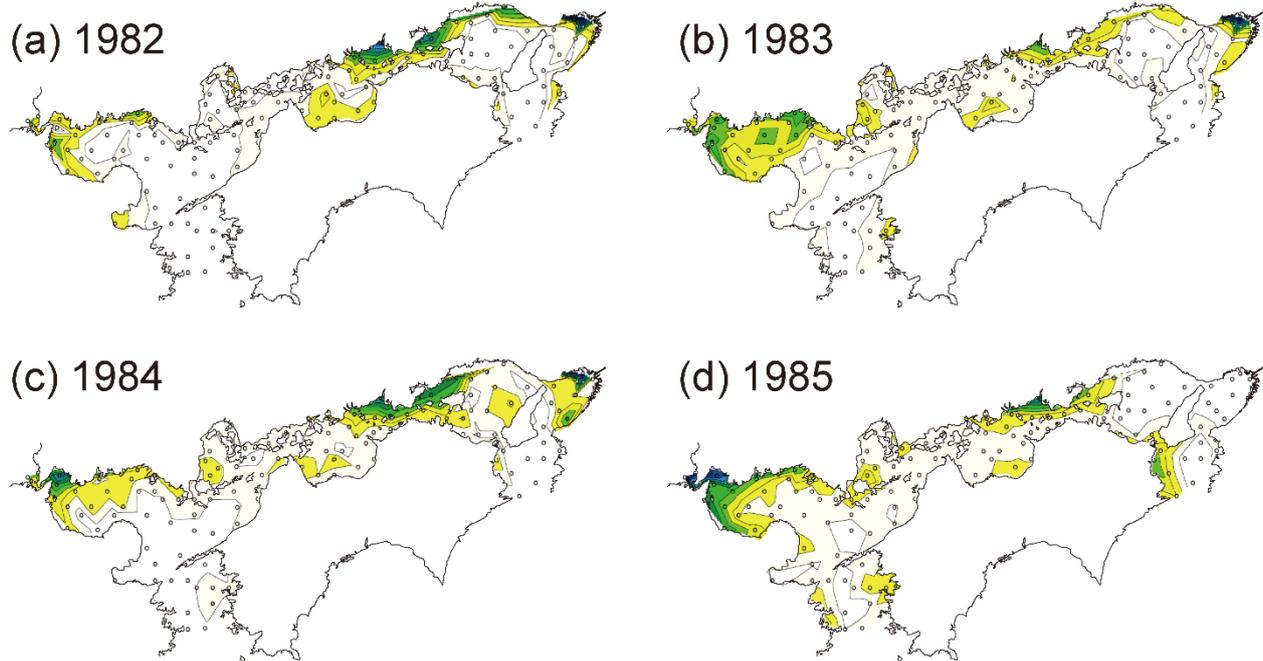


Fig. 20b. Spatial distribution of the surface chlorophyll *a* in May in the Seto Inland Sea from 2002 to 2005 (top) and 2010 to 2014 (bottom). Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

Bottom water chl. a in May (1982-1985)



Bottom water chl. a in May (1992-1995)

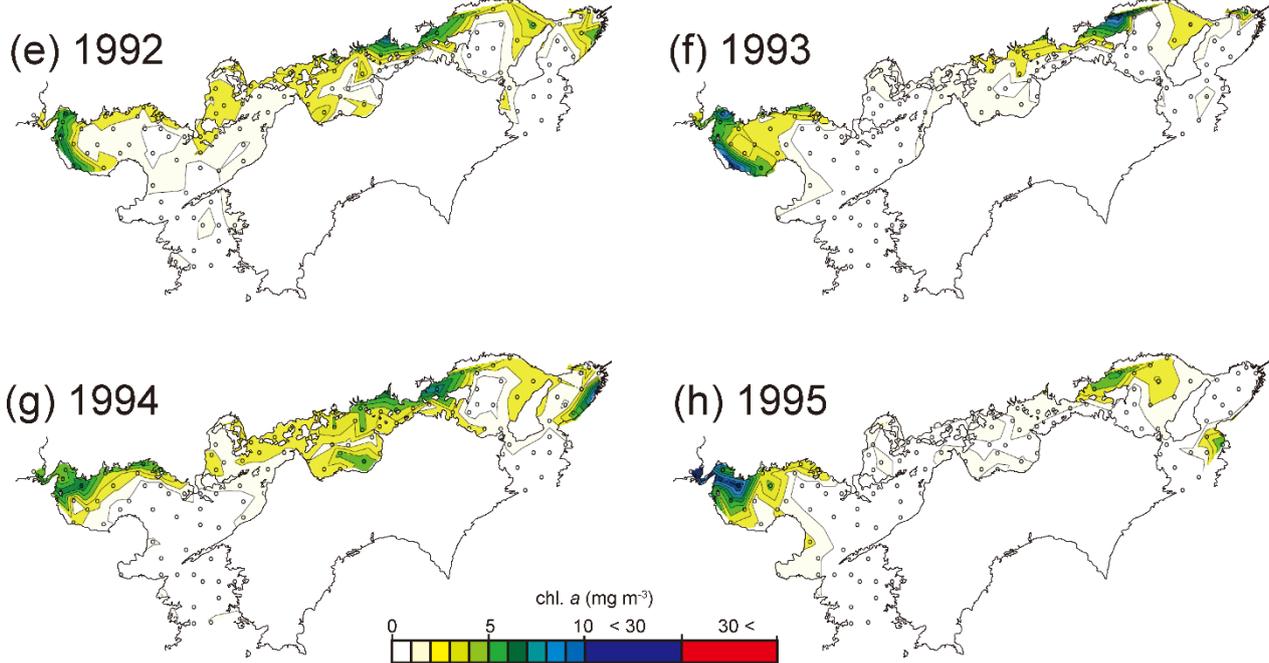
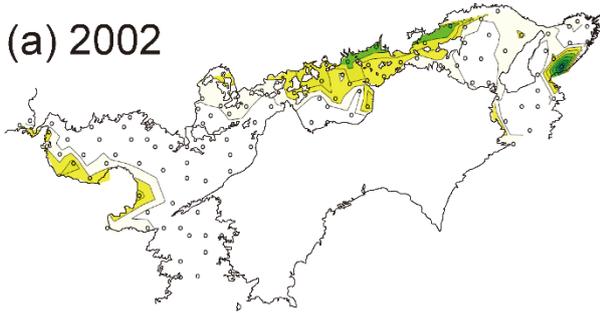


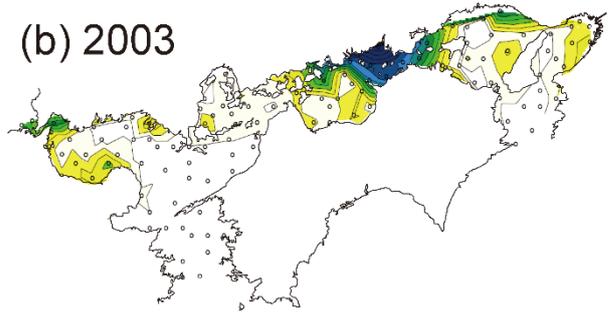
Fig. 20c. Spatial distribution of the bottom chlorophyll *a* in May in the Seto Inland Sea from 1982 to 1985 (top) and 1992 to 1995 (bottom). Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

Bottom water chl. a in May (2002-2014)

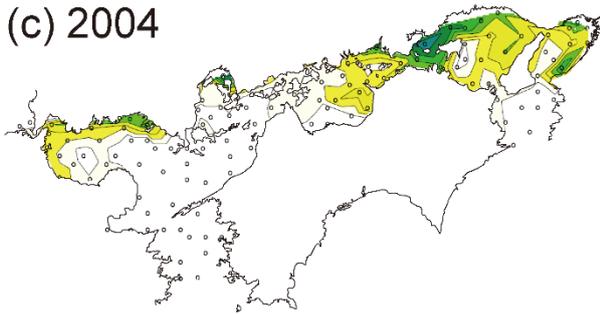
(a) 2002



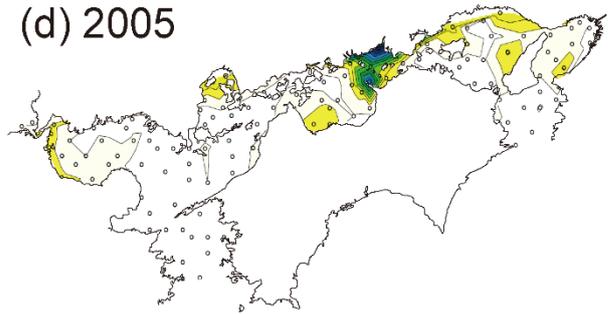
(b) 2003



(c) 2004

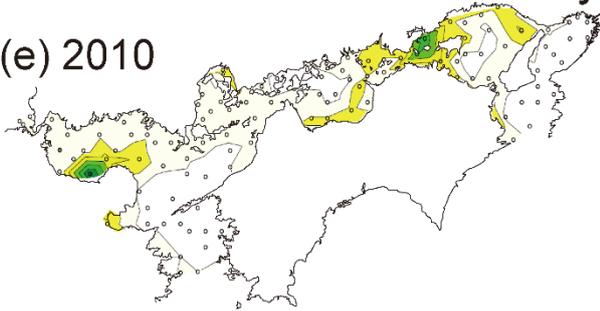


(d) 2005

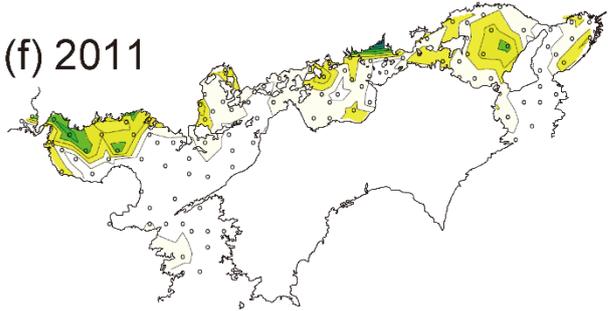


Bottom water chl. a in May (2010-2014)

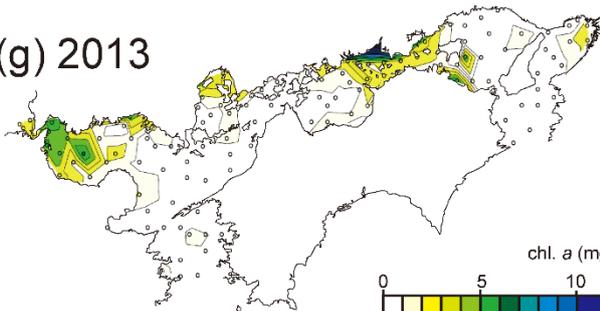
(e) 2010



(f) 2011



(g) 2013



(h) 2014

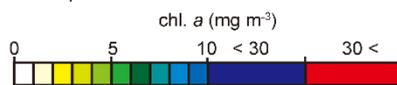
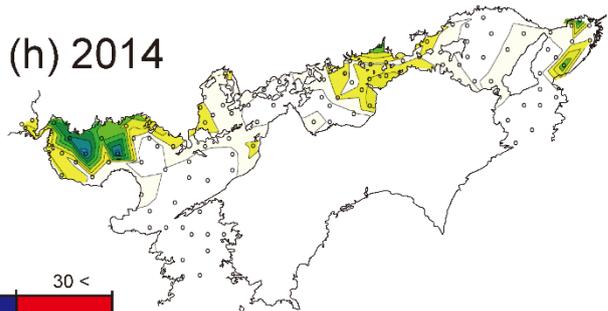
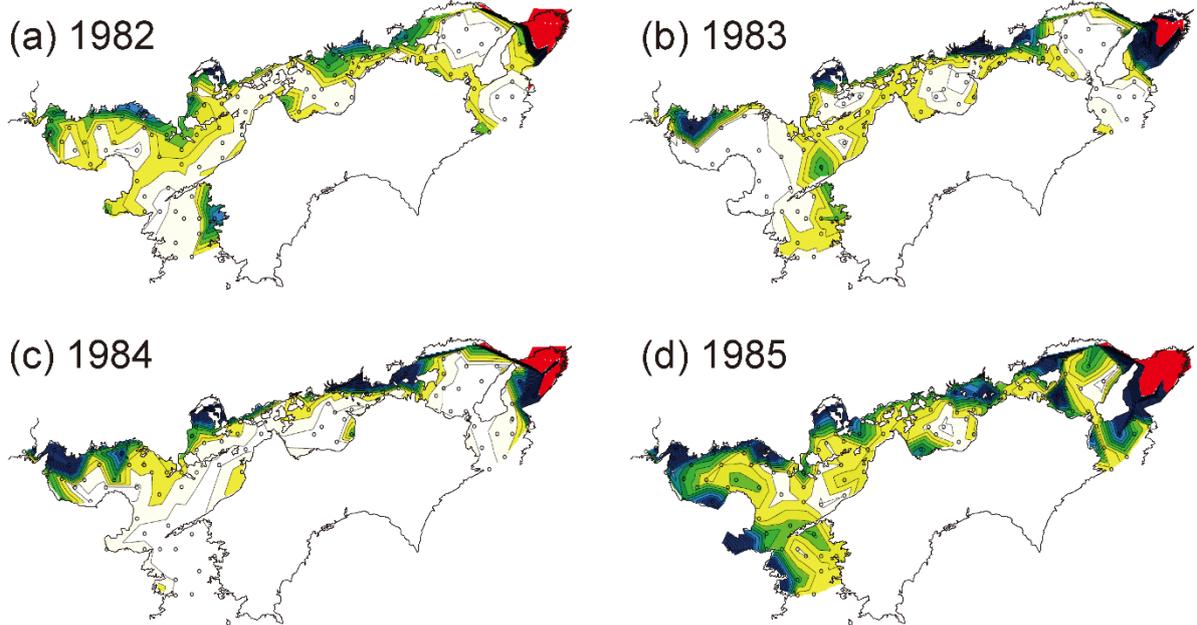


Fig. 20d. Spatial distribution of the bottom chlorophyll *a* in May in the Seto Inland Sea from 2002 to 2005 (top) and 2010 to 2014 (bottom). Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

Surface water chl. *a* in July (1982-1985)



Surface water chl. *a* in July (1992-1995)

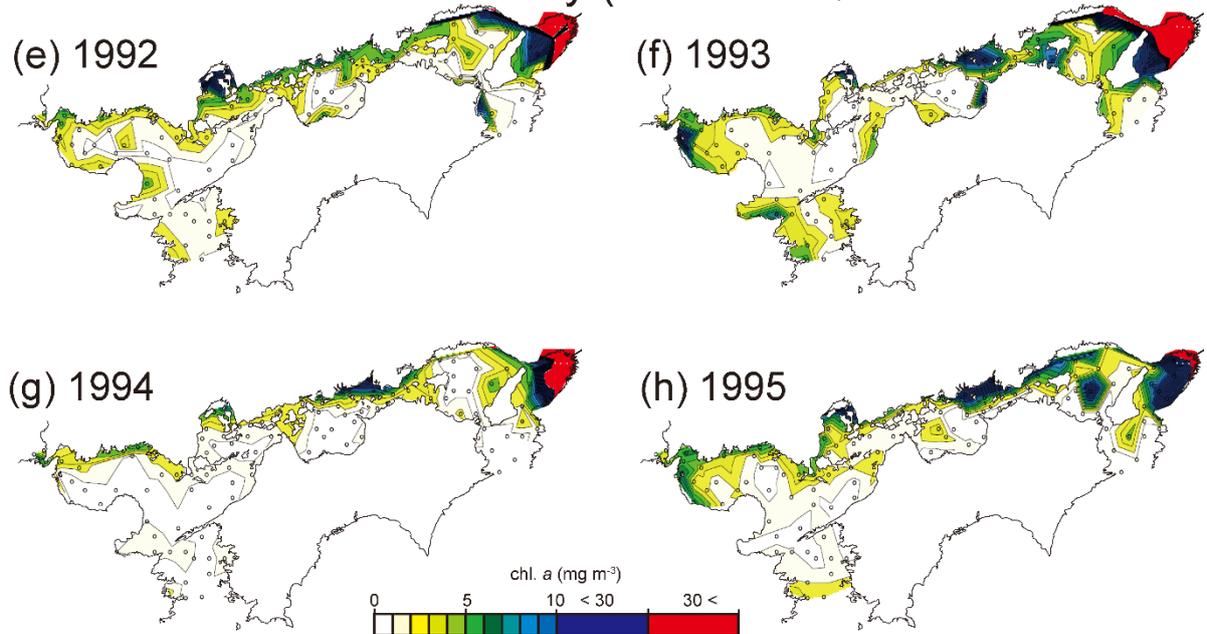
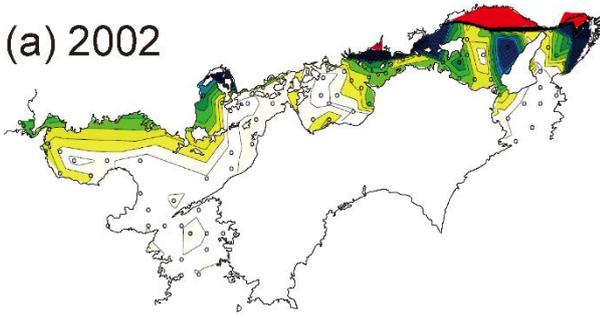


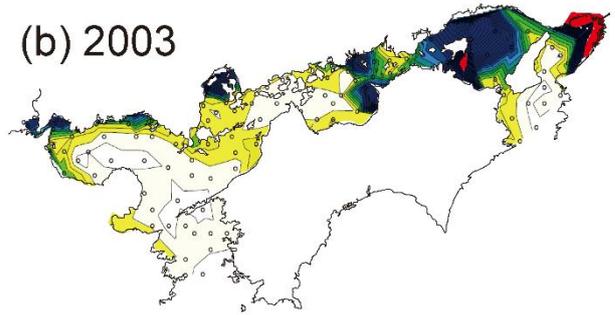
Fig. 21a. Spatial distribution of the surface chlorophyll *a* in July in the Seto Inland Sea from 1982 to 1985 (top) and 1992 to 1995 (bottom). Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

Surface water chl. *a* in July (2002-2005)

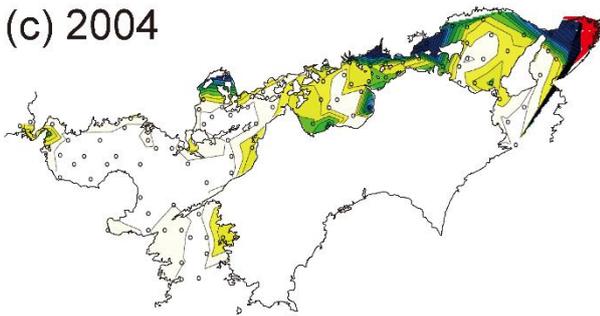
(a) 2002



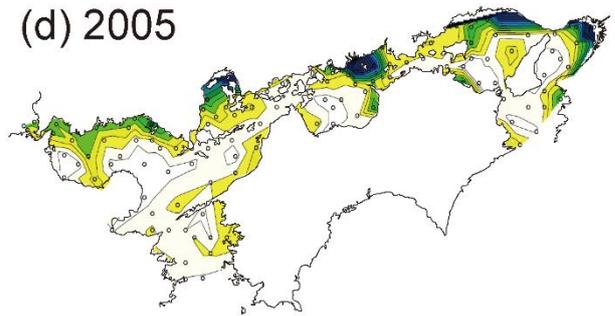
(b) 2003



(c) 2004

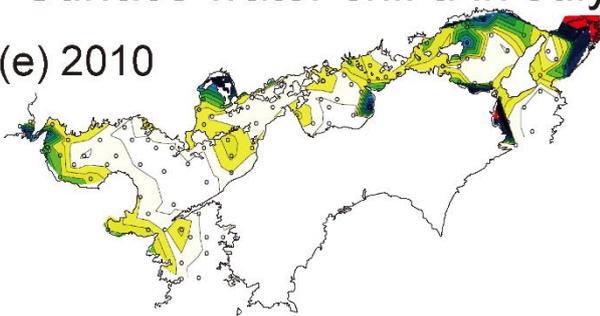


(d) 2005

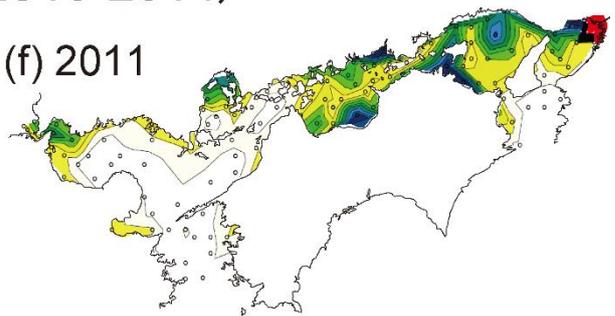


Surface water chl. *a* in July (2010-2014)

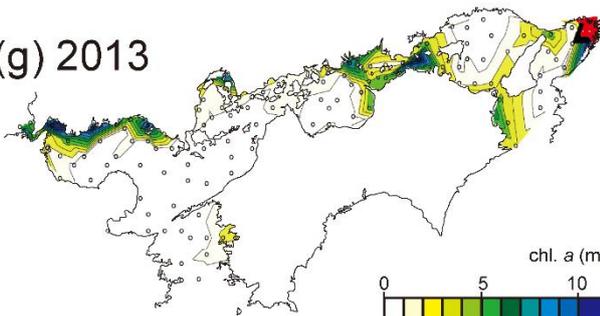
(e) 2010



(f) 2011



(g) 2013



(h) 2014

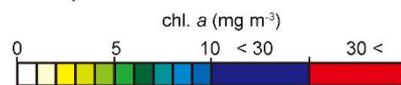
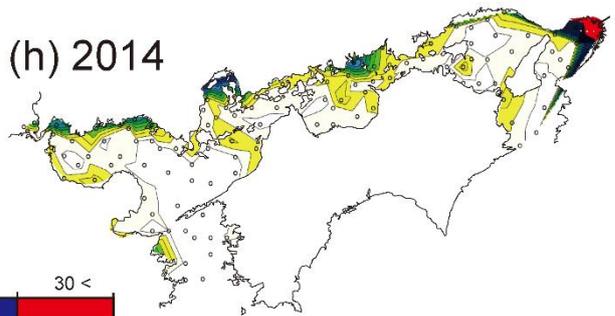
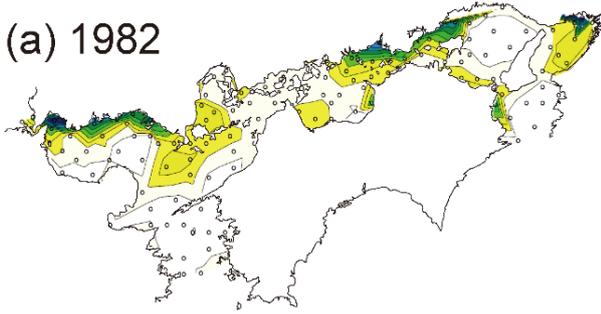


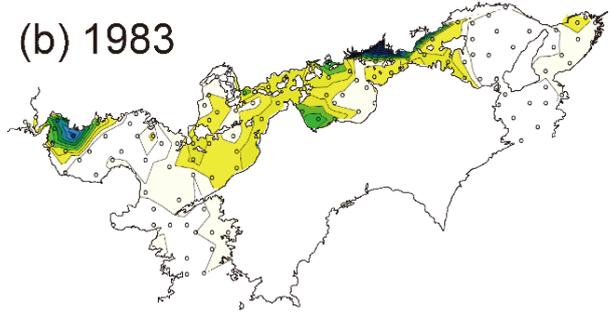
Fig. 21b. Spatial distribution of the surface chlorophyll *a* in July in the Seto Inland Sea from 2002 to 2005 (top) and 2010 to 2014 (bottom). Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

Bottom water chl. *a* in July (1982-1985)

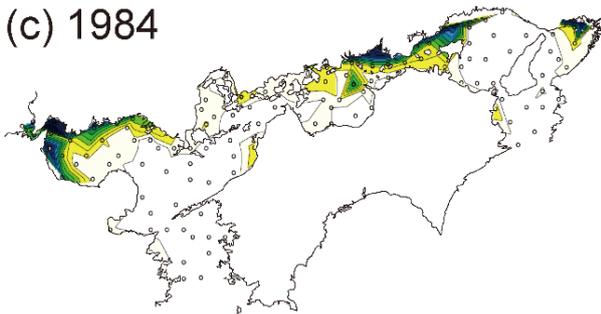
(a) 1982



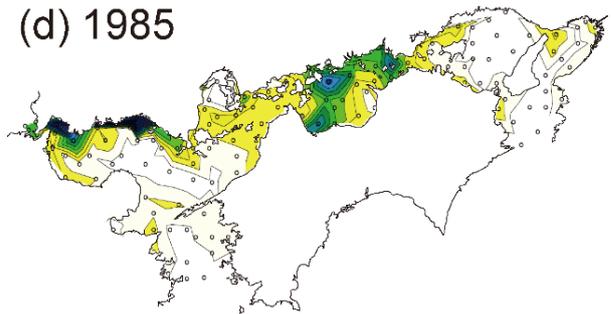
(b) 1983



(c) 1984

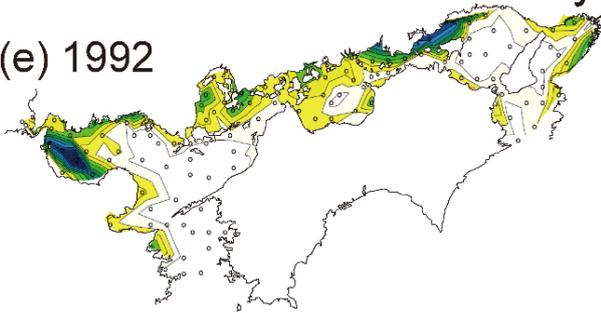


(d) 1985

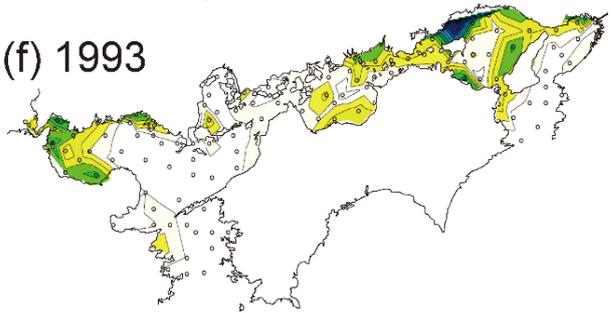


Bottom water chl. *a* in July (1992-1995)

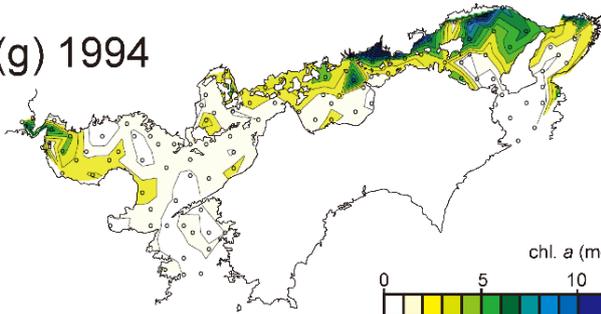
(e) 1992



(f) 1993



(g) 1994



(h) 1995

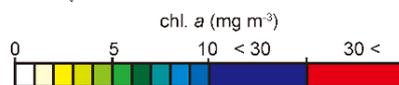
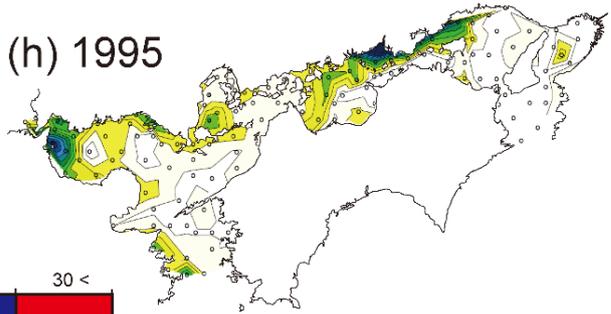
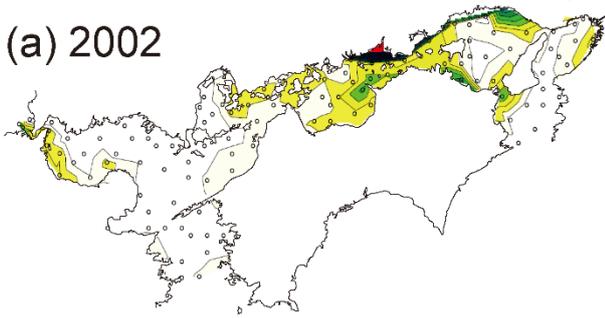


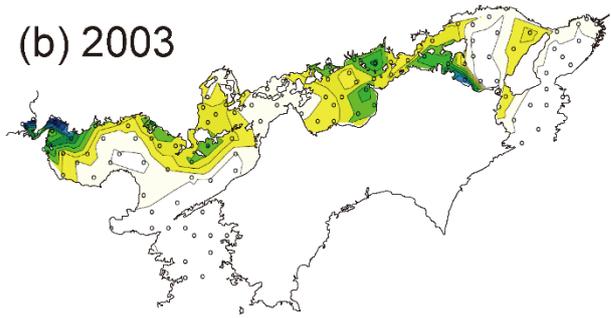
Fig. 21c. Spatial distribution of the bottom chlorophyll *a* in July in the Seto Inland Sea from 1982 to 1985 (top) and 1992 to 1995 (bottom). Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

Bottom water chl. *a* in July (2002-2005)

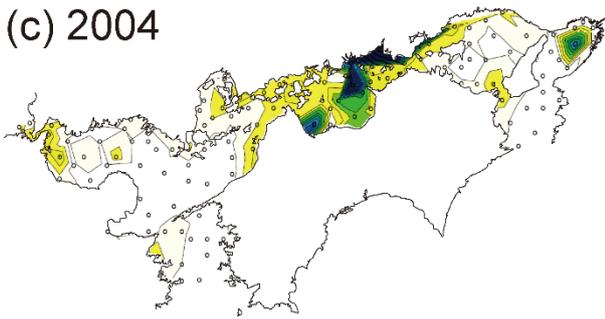
(a) 2002



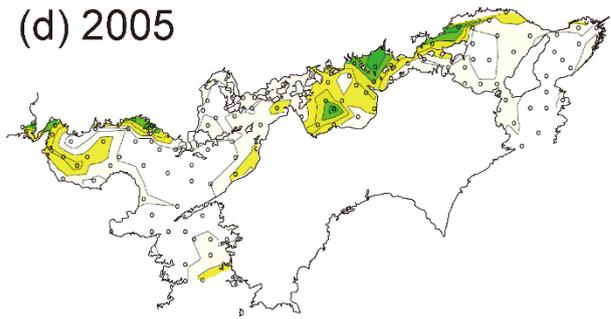
(b) 2003



(c) 2004

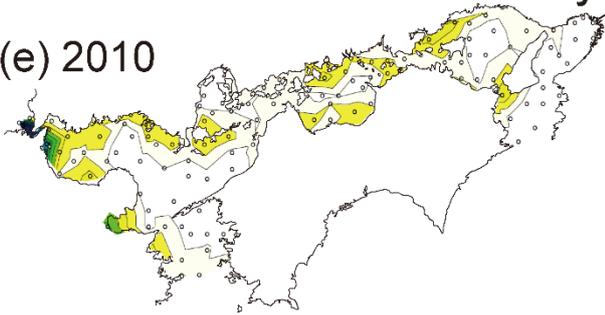


(d) 2005

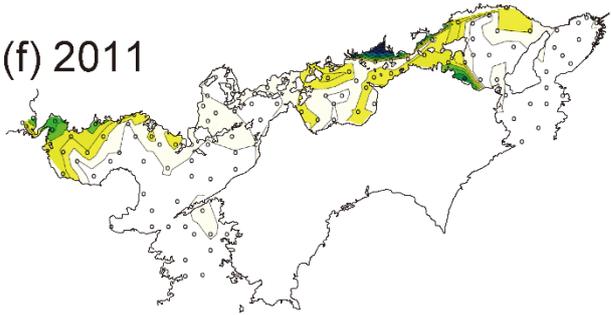


Bottom water chl. *a* in July (2010-2014)

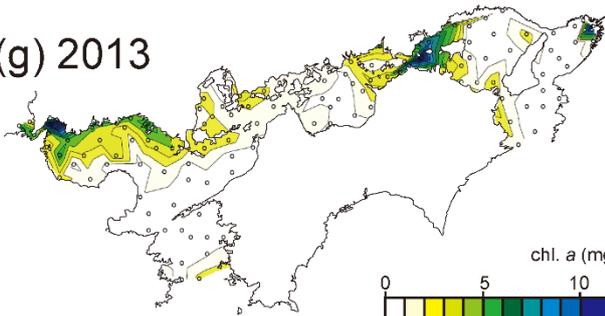
(e) 2010



(f) 2011



(g) 2013



(h) 2014

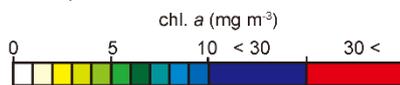
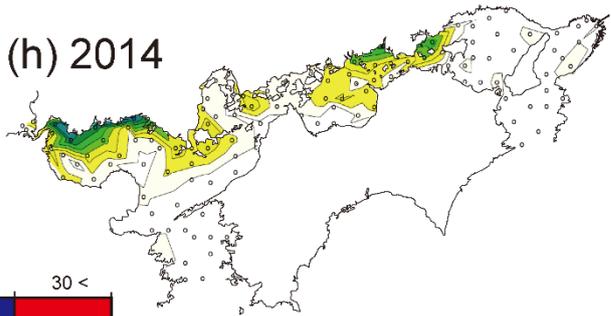
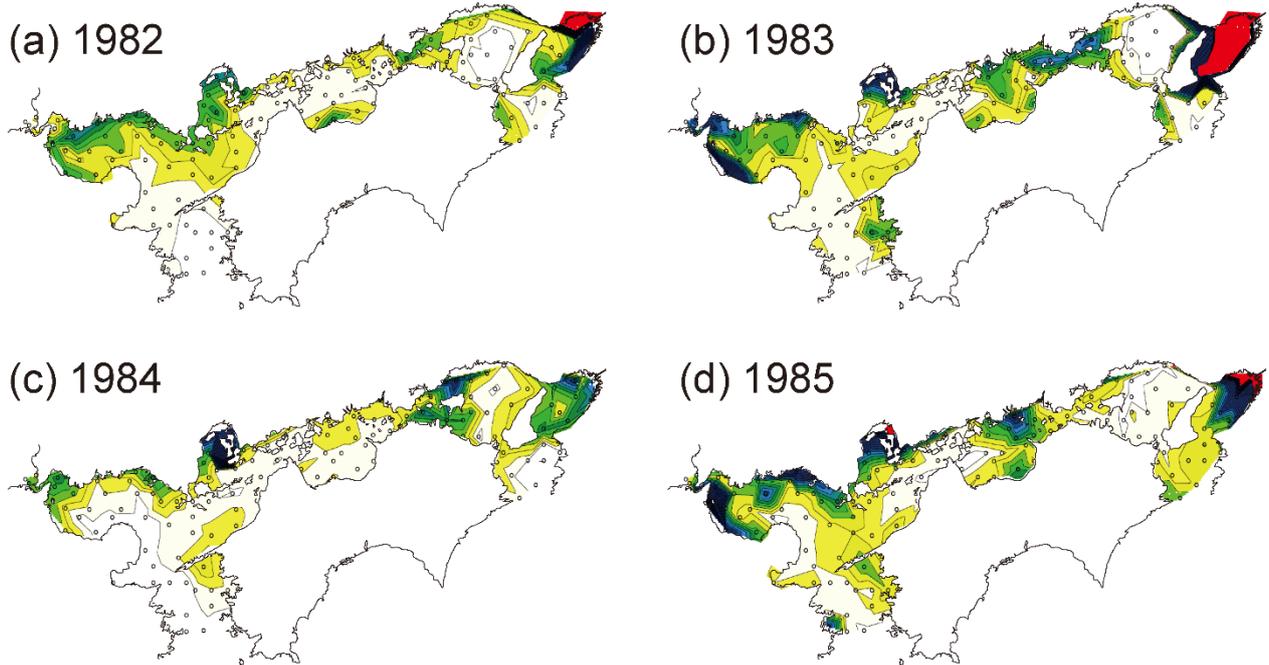


Fig. 21d. Spatial distribution of the bottom chlorophyll *a* in July in the Seto Inland Sea from 2002 to 2005 (top) and 2010 to 2014 (bottom). Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

Surface water chl. a in Oct. (1982-1985)



Surface water chl. a in Oct. (1992-1995)

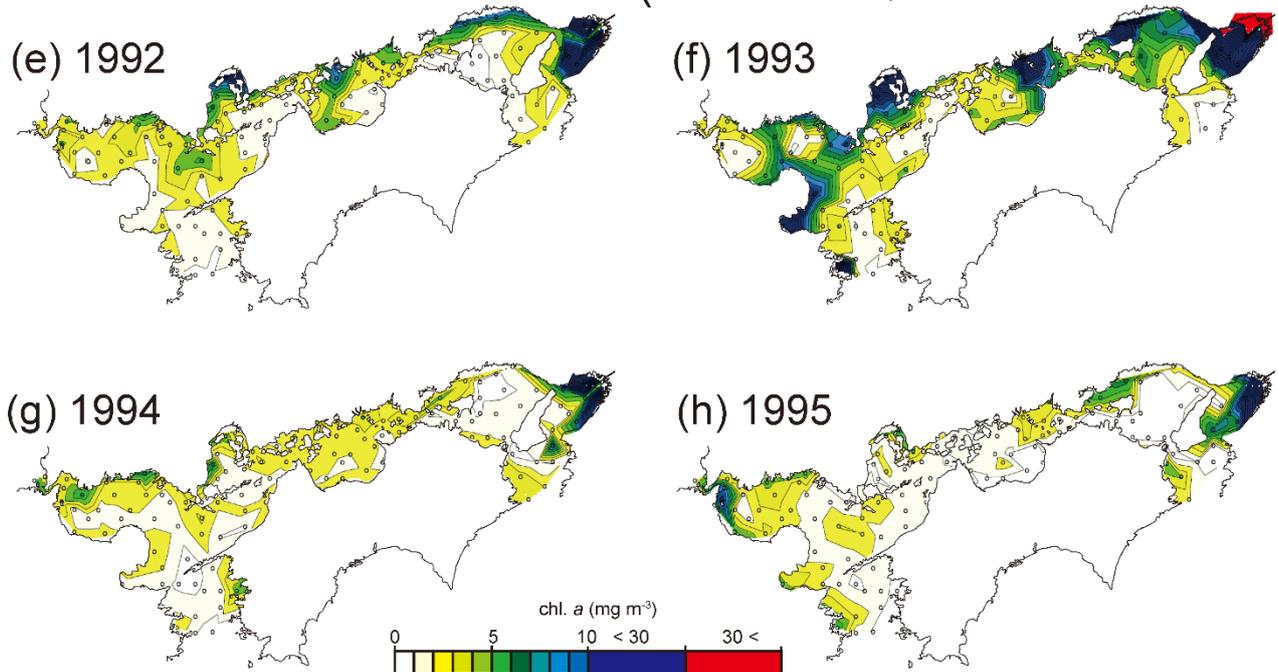
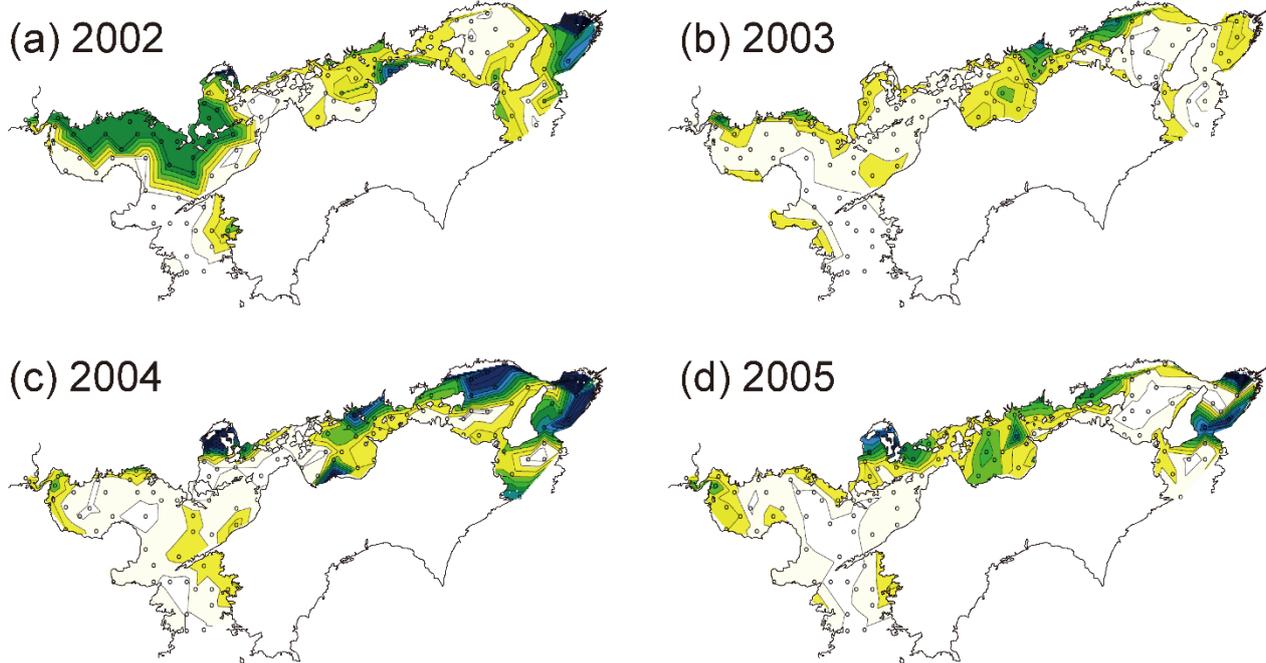


Fig. 22a. Spatial distribution of the surface chlorophyll *a* in October in the Seto Inland Sea from 1982 to 1985 (top) and 1992 to 1995 (bottom). Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

Surface water chl. *a* in Oct. (2002-2005)



Surface water chl. *a* in Oct. (2010-2014)

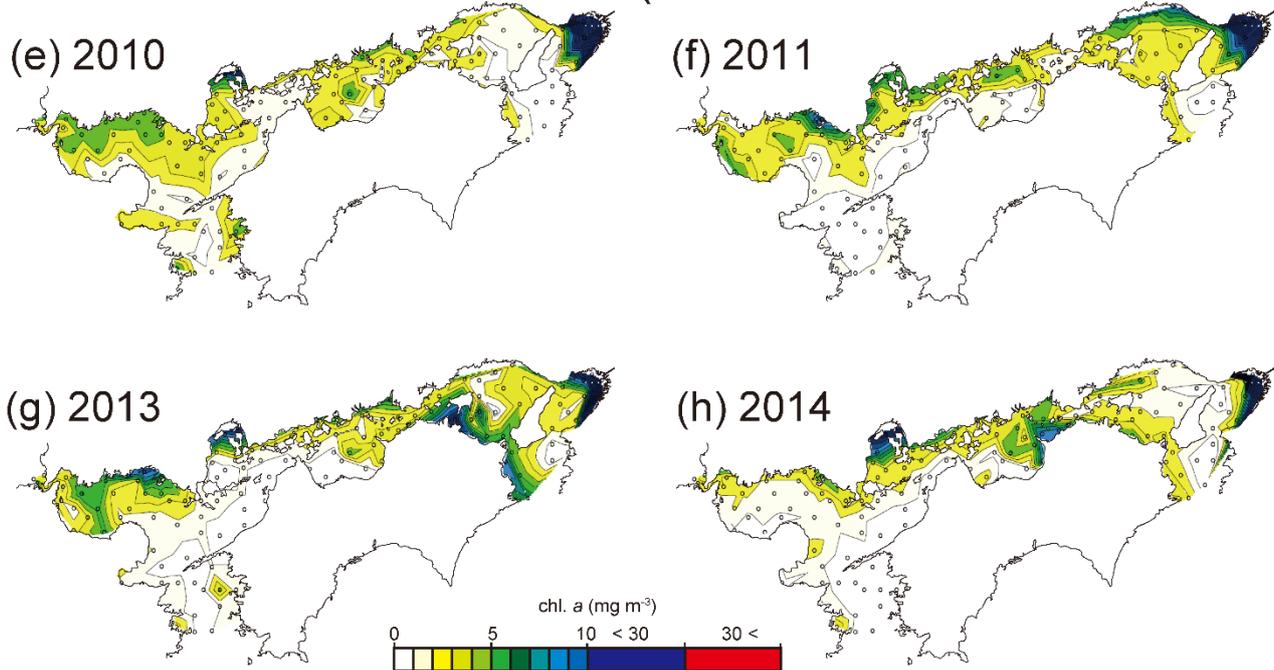
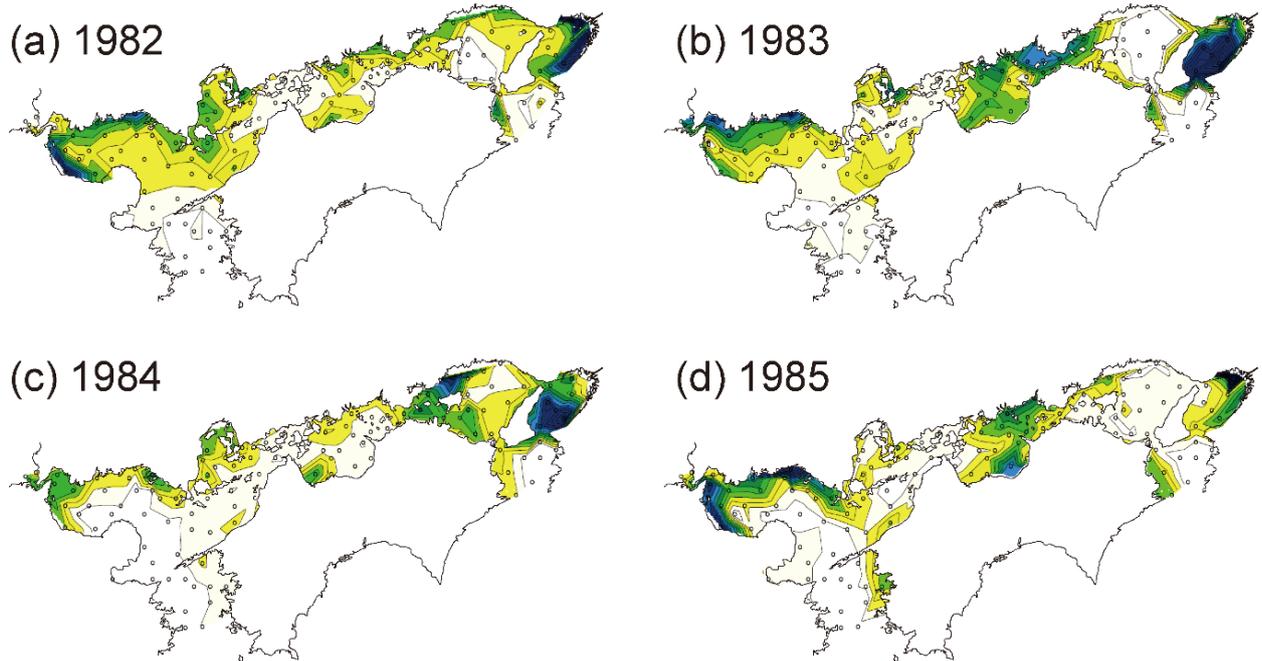


Fig. 22b. Spatial distribution of the surface chlorophyll *a* in October in the Seto Inland Sea from 2002 to 2005 (top) and 2010 to 2014 (bottom). Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

Bottom water chl. a in Oct. (1982-1985)



Bottom water chl. a in Oct. (1992-1995)

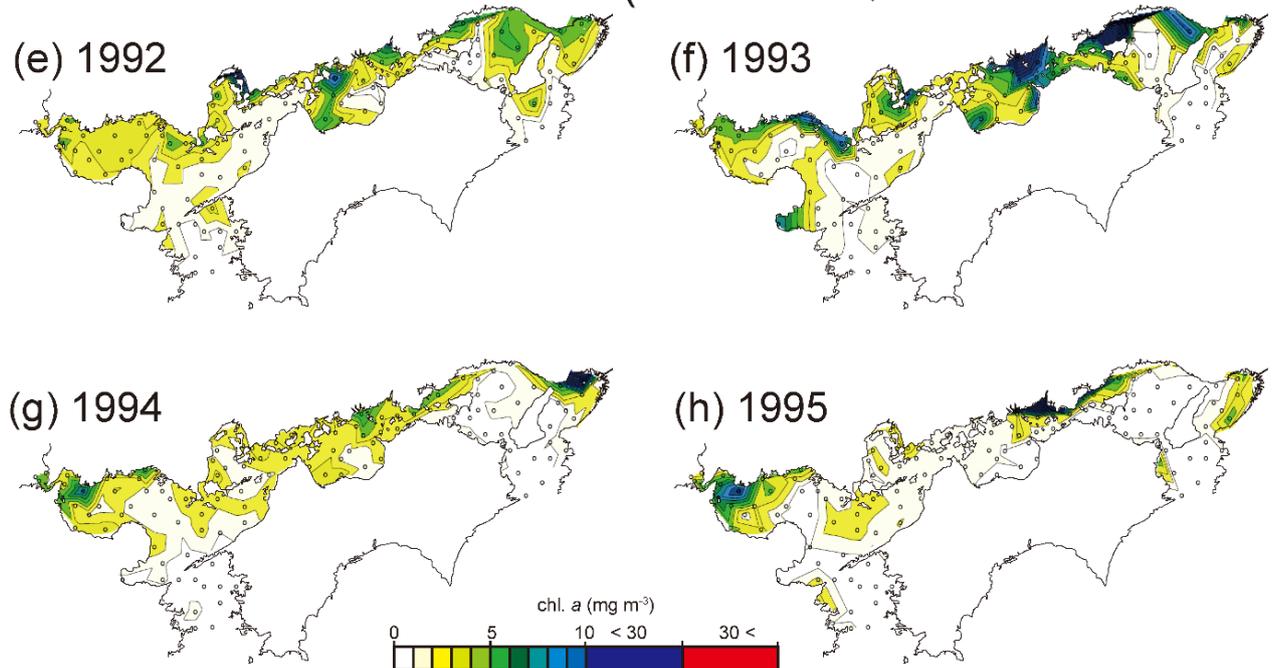
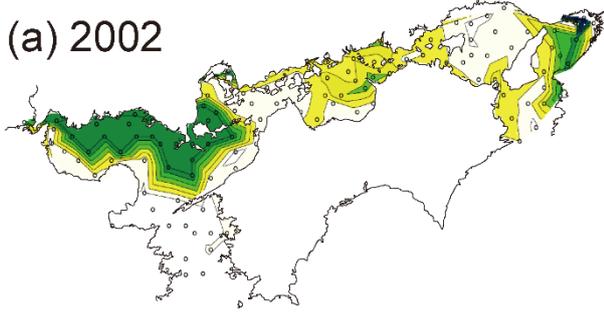


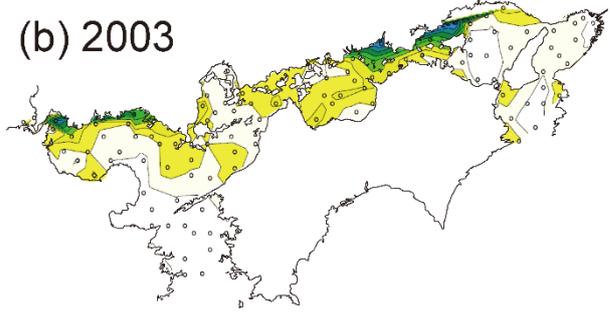
Fig. 22c. Spatial distribution of the bottom chlorophyll *a* in October in the Seto Inland Sea from 1982 to 1985 (top) and 1992 to 1995 (bottom). Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

Bottom water chl. a in Oct. (2002-2005)

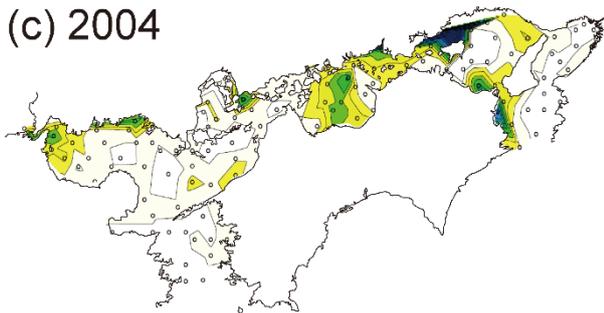
(a) 2002



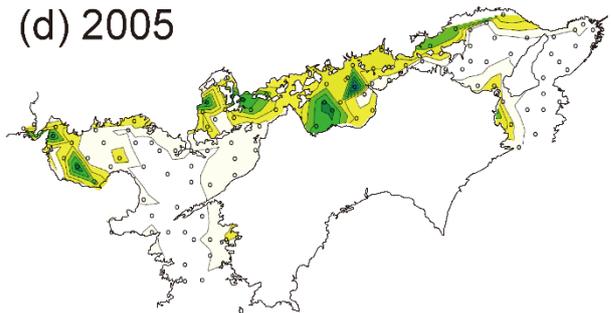
(b) 2003



(c) 2004

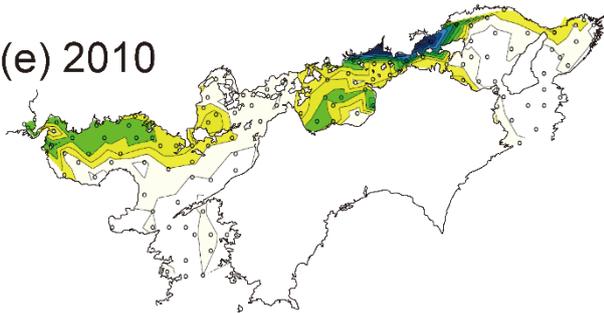


(d) 2005

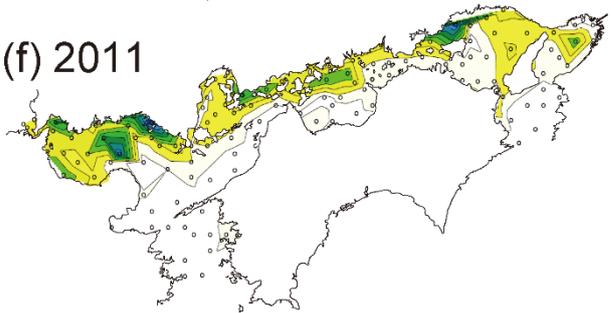


Bottom water chl. a in Oct. (2010-2014)

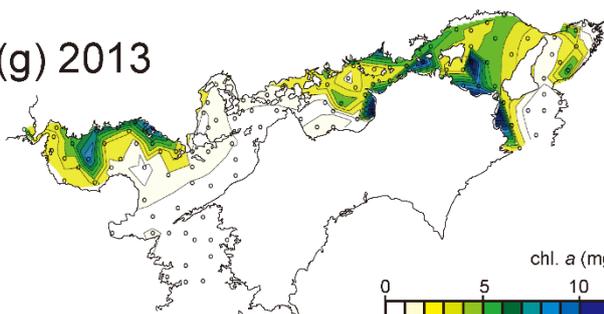
(e) 2010



(f) 2011



(g) 2013



(h) 2014

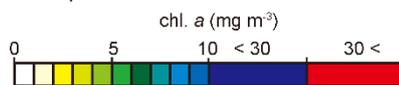
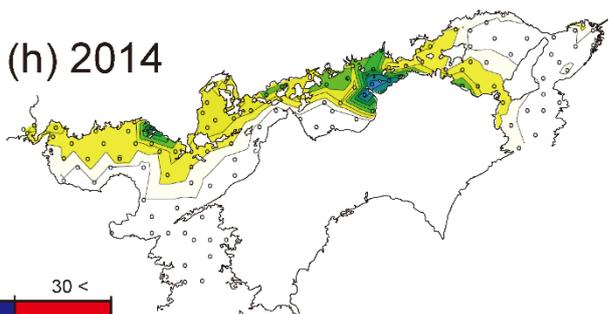


Fig. 22d. Spatial distribution of the bottom chlorophyll *a* in October in the Seto Inland Sea from 2002 to 2005 (top) and 2010 to 2014 (bottom). Data are from the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

Supplementary table 1. List of sampling points in the Kouiki Sogo Suishitsu Chosa survey conducted by the Ministry of the Environment.

St.	Area name	Lat.	Long.	St.	Area name	Lat.	Long.
2	Osaka Bay 大阪湾	34.6583	135.4092	328	Hiuchi Nada 燧灘	34.0033	133.1725
5	Osaka Bay 大阪湾	34.5564	135.4122	332	Hiuchi Nada 燧灘	34.3833	133.1003
11	Osaka Bay 大阪湾	34.6950	135.3306	343	Hiuchi Nada 燧灘	34.0567	133.0425
23	Osaka Bay 大阪湾	34.6583	135.2639	344	Hiuchi Nada 燧灘	34.2056	133.0336
25	Osaka Bay 大阪湾	34.5486	135.2678	352	Hiuchi Nada 燧灘	34.2744	132.8961
37	Osaka Bay 大阪湾	34.3853	135.2025	359	Aki Nada 安芸灘	34.1133	132.8475
44	Osaka Bay 大阪湾	34.4397	135.1372	363	Hiuchi Nada 燧灘	34.2200	132.7697
48	Osaka Bay 大阪湾	34.6100	135.0922	372	Aki Nada 安芸灘	34.0033	132.7142
50	Osaka Bay 大阪湾	34.4942	135.0719	376	Aki Nada 安芸灘	34.1133	132.6447
58	Osaka Bay 大阪湾	34.3308	135.0067	382	Aki Nada 安芸灘	34.1833	132.5767
64	Kii Suido 紀伊水道	34.1675	135.1381	390	Hiroshima Bay 広島湾	34.1983	132.4992
78	Kii Suido 紀伊水道	34.2222	135.0083	391	Hiroshima Bay 広島湾	34.0617	132.5075
79	Kii Suido 紀伊水道	34.1128	135.0083	396	Hiroshima Bay 広島湾	34.3333	132.4558
86	Kii Suido 紀伊水道	33.9486	134.9433	399	Hiroshima Bay 広島湾	34.1150	132.4375
89	Kii Suido 紀伊水道	34.1128	134.8783	411	Hiroshima Bay 広島湾	34.2900	132.3558
95	Kii Suido 紀伊水道	33.8583	134.8106	412	Hiroshima Bay 広島湾	34.0500	132.3567
98	Kii Suido 紀伊水道	34.0133	134.7472	423	Hiroshima Bay 広島湾	34.1667	132.2892
103	Kii Suido 紀伊水道	34.1700	134.6806	426	Hiroshima Bay 広島湾	33.9967	132.2922
110	Kii Suido 紀伊水道	34.1033	134.6289	433	Hiroshima Bay 広島湾	34.0983	132.2542
119	Harima Nada 播磨灘	34.6033	134.8761	441	Iyo Nada 伊予灘	33.8383	132.6817
129	Harima Nada 播磨灘	34.4950	134.7450	456	Iyo Nada 伊予灘	33.7814	132.5142
132	Harima Nada 播磨灘	34.7633	134.6839	457	Iyo Nada 伊予灘	33.6700	132.5142
143	Harima Nada 播磨灘	34.6033	134.6139	459	Iyo Nada 伊予灘	33.8900	132.4856
147	Harima Nada 播磨灘	34.2767	134.6106	469	Iyo Nada 伊予灘	33.6033	132.3142
150	Harima Nada 播磨灘	34.7100	134.5483	473	Iyo Nada 伊予灘	33.8367	132.2922
153	Harima Nada 播磨灘	34.4408	134.5483	484	Iyo Nada 伊予灘	33.8367	132.1633
164	Harima Nada 播磨灘	34.2767	134.4789	486	Iyo Nada 伊予灘	33.7300	132.1633
168	Harima Nada 播磨灘	34.6567	134.4172	487	Iyo Nada 伊予灘	33.6233	132.1633
169	Harima Nada 播磨灘	34.5492	134.4172	495	Iyo Nada 伊予灘	33.4517	132.0475
170	Harima Nada 播磨灘	34.4425	134.4194	498	Iyo Nada 伊予灘	33.8367	132.0344
179	Harima Nada 播磨灘	34.3911	134.3539	509	Iyo Nada 伊予灘	33.6767	131.9706
181	Harima Nada 播磨灘	34.2822	134.3539	512	Suou Nada 周防灘	33.8367	131.9053
182	Harima Nada 播磨灘	34.6644	134.2994	521	Suou Nada 周防灘	33.9967	131.8408
195	Harima Nada 播磨灘	34.3911	134.2206	522	Suou Nada 周防灘	33.8900	131.8408
204	Harima Nada 播磨灘	34.5478	134.0931	527	Iyo Nada 伊予灘	33.3922	131.8442
213	Harima Nada 播磨灘	34.4425	134.0289	529	Iyo Nada 伊予灘	33.2811	131.8442
224	Bisan Seto 備讃瀬戸	34.4158	133.8972	531	Suou Nada 周防灘	33.7256	131.7775
237	Bisan Seto 備讃瀬戸	34.4047	133.7594	533	Iyo Nada 伊予灘	33.5033	131.7775
238	Bisan Seto 備讃瀬戸	34.3169	133.7619	542	Suou Nada 周防灘	33.8900	131.7119
241	Bisan Seto 備讃瀬戸	34.5222	133.6986	550	Suou Nada 周防灘	34.0381	131.7008
248	Bisan Seto 備讃瀬戸	34.3950	133.6342	562	Suou Nada 周防灘	33.9750	131.6522
250	Bisan Seto 備讃瀬戸	34.2914	133.6253	565	Suou Nada 周防灘	33.7833	131.5831
254	Bingo Nada 備後灘	34.1114	133.6275	575	Suou Nada 周防灘	33.7256	131.5108
263	Bingo Nada 備後灘	34.2194	133.5625	578	Iyo Nada 伊予灘	33.2811	131.5175
274	Hiuchi Nada 燧灘	34.0567	133.4975	582	Suou Nada 周防灘	33.8900	131.4539
276	Bingo Nada 備後灘	34.2683	133.4833	588	Suou Nada 周防灘	33.9750	131.3897
277	Bisan Seto 備讃瀬戸	34.4178	133.4675	594	Suou Nada 周防灘	33.6256	131.3775
285	Bingo Nada 備後灘	34.3300	133.4253	598	Suou Nada 周防灘	33.7833	131.3253
298	Bingo Nada 備後灘	34.1656	133.3681	605	Suou Nada 周防灘	33.7256	131.2442
306	Hiuchi Nada 燧灘	34.1117	133.3025	613	Suou Nada 周防灘	33.8900	131.1961
308	Hiuchi Nada 燧灘	34.0033	133.3025	617	Suou Nada 周防灘	33.6383	131.1308
310	Bingo Nada 備後灘	34.2889	133.2558	620	Suou Nada 周防灘	33.7867	131.1325
312	Bingo Nada 備後灘	34.3911	133.2406	626	Suou Nada 周防灘	33.9967	131.0675
315	Hiuchi Nada 燧灘	34.1667	133.2375	632	Suou Nada 周防灘	33.9367	131.0442

Supplementary table 1. *Continued.*

St.	Area name		Lat.	Long.
636	Suou Nada	周防灘	33.8417	131.0275
647	Bungo Suido	豊後水道	33.2317	132.4458
665	Bungo Suido	豊後水道	33.2317	132.3142
666	Bungo Suido	豊後水道	33.1217	132.3142
667	Bungo Suido	豊後水道	33.3900	132.2508
671	Bungo Suido	豊後水道	32.9550	132.2508
674	Bungo Suido	豊後水道	33.2317	132.1825
677	Bungo Suido	豊後水道	33.2811	132.1108
679	Bungo Suido	豊後水道	33.0589	132.1108
680	Bungo Suido	豊後水道	32.9478	132.1108
690	Bungo Suido	豊後水道	33.2811	131.9756
696	Bungo Suido	豊後水道	32.9811	131.9608
702	Bungo Suido	豊後水道	33.1283	131.8442
707	Hibiki Nada	響灘	34.0150	130.8908
714	Hibiki Nada	響灘	33.9600	130.8358
715	Hibiki Nada	響灘	33.9850	130.8058

日本語タイトル：金谷弦、牧秀明 (2022) 1981～2015 年の瀬戸内海における水質項目の時空間変動：
行政調査データを用いた解析. 海域環境研究室, 地域環境保全領域, 国立環境研究所, つくば. p. 89

English title: Kanaya and Maki (2022) Spatiotemporal changes in water quality in the Seto Inland Sea
from 1981 to 2015: Analyses of public survey data.

Marine Environment Section, Regional Environment Conservation Division, NIES, Tsukuba. p. 89

<http://doi.org/10.34462/00000023>