

地球温暖化と土佐湾海水温度の時空間変動

村上 雅博*

(受領日：2012年5月14日)

高知工科大学 環境理工学群

〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

E-mail: *murakami.masahiro@kochi-tech.ac.jp

要約：本論の目的は、本世界最大規模の暖流である黒潮海流を受ける土佐湾に面した高知県が地球規模の温暖化の影響を受けている代表的なホットスポットであることを長期的な海水温度観測資料を分析することから明らかにすることである。室戸岬気象観測所は都市化の影響が無い理想的な観測ポイントであり、1980年から30年間で1.1℃気温が上昇しているが、冬期の変化量が支配的である。高知県は日本で地球温暖化問題が騒がれた以前の1975年から継続的に土佐湾の海洋環境観測を35年間に亘り実施している。長期的（1975–2010）な海水温度観測の時空間的な変動特性の分析結果から、黒潮海流の強い影響を受けて土佐湾の海水温度は表面部のみならず大陸棚領域の深部まで上昇傾向にあり、深度200mに及ぶ範囲に達している。温暖化が加速しだした1980年代以降の冬期における土佐湾の海水温度と室戸気象台の気温の上昇傾向に相関が認められる、すなわち海洋性気候の影響下にある高知県の温暖化は夏期ではなく冬期に強く表れていることが明らかになった。Think Globally and Act Locally のコンセプトから世界の地球規模気候変動問題のホットスポットになっている太平洋熱帯・亜熱帯海域のエルニーニョとラニーニャ現象との関係を実証的に明らかにするとともに、海水と気温の変動（温暖化）が地域（高知）の生態環境や災害（洪水と渇水）にどのような影響をおよぼし、其の対応策についても検討を進めていくことが今後の課題である。

1. はじめに

地球の表面積の2/3を占めている海洋の表面温度と海流が地球や地域の気候を基本的に支配しているといっても過言ではなく、地球規模温暖化問題において対応策を検討する場合には過去および将来に亘っての海水表面温度（Sea Surface Temperature: SST）の変化を検討することには重要な意味がある。

世界の気象研究の米ワシントン大学の研究グループは2006年に、世界の海面温度は1950年からの約50年間で約0.5℃上昇していると発表し、米海洋大気局（NOAA）は、この温度上昇をすべての海水温度に平均すると、約0.037℃の上昇になると計算した。一般に海水は空気に比べて約1000倍もの熱を蓄えることができるので、海水温の上昇分を大気に戻した場合にエネルギー収支的には大気中では約40℃もの温度上昇をもたらすことになる¹⁾。平均的な台風のエネルギーは、広島・長崎に投下された原子爆弾の10万個分に相当するともいわれている。すなわちこのわずかだと勘違いされる0.037℃という温度

上昇は、大気から膨大な熱エネルギーの吸収を意味している。大気の運動は乱流現象であるからして、局地的には吸収されたエネルギーの一部が強い台風やハリケーンを多発させる要因となり、コリオリ力が働く海洋で海面温度（SST）が26～27℃を超える条件で渦巻き流の芽が発生して熱帯性低気圧が発達する。海面温度が28℃を超えると台風が発達して移動できる条件になる。

高知県土佐湾沖の海面温度は温暖化の影響が顕著に表れだした1990年以降の夏期に28℃を超える観測点が増加傾向にあり、さらにラニーニャ現象と相関を有していることが分かってきた^{2, 3)}。すなわち世界最大規模の暖流である黒潮海流を直接に受ける土佐湾沖の海水温度の変化はローカルな問題に止まらず地球規模の温暖化の影響を受けていることになるという視点が本研究の論点である。

国立環境研究所の地球シミュレーターによる予測によれば、2100年には日本海沿岸の海面水温が約3℃上昇する可能性があり、自然災害の激発と共に生態系への影響が危惧されている。高知県では1998年

のラニーニャ現象により夏から秋にかけての異常高温と土佐湾沿岸沖の黒潮海流の海面温度上昇が組み合わせ、大規模な秋雨前線の発達に起因する異常豪雨により大規模な水害被害にみまわれ、その損害額は686億円に及んだ^{4, 5)}。高知県の災害は台風による水害で全国に知られるが、過去に例のない初めての秋雨前線の発達による大水害に見舞われた。過去の災害経験からだけでの対策では地球規模の気候変動の脅威に対応していけないことを思い知らされた記録的な災害であった。

2004年末に海水温上昇により紀伊半島南端で熱帯に生息するオニヒトデが大発生し、テーブルサンゴなどへの食害が深刻化し、同時期に沖縄のサンゴの白化が進んでいることが分かった。世界最大規模の暖流である黒潮－対馬海流に接す日本沿岸域では亜熱帯性の魚類が出現するようになり、鮎は西南日本で急激に減少している一方で東北日本では減少傾向が弱い。温暖化の影響で動植物プランクトンの減少により、今世紀末には北海道のサンマが小型化し漁場も遠ざかる可能性も指摘されている。WWFは、このまま海水温度の上昇が続くと、米国やカナダの周辺海域では、比較的低温を好むタラやカレイ、スズキなどの魚の資源量が大幅に減少し、その分布も大きく変化すると警告している。

海水温度と黒潮海流の変動による海洋環境と漁業資源への影響にいち早く着目していたのは高知県の水産試験場で、1975年から土佐湾沿岸沖の海水温度の観測を月1回の頻度で継続的に実施している。温暖化による土佐湾沖の海面温度の変動は、漁業資源に止まらず徐々に高知県の生態系や農業生産にも影響を与えている^{6, 7, 8, 9)}。

本論は地球規模気候変動の一環として温暖化が進展している西日本を代表する温暖化研究の最前線のホットスポットでもある高知県をフィールドに、黒潮海流が押し寄せる土佐湾に沿って発達している高知県沿岸部におけるクリーピングな環境変動問題を土佐湾海水温度変動との関係に着目して分析することにある。

2. 地球温暖化のバックグラウンド変化を観測する室戸气象台

地球温暖化の影響が高知県でもある？近年夏がものすごく暑くなっている？人々が異常な気象と感じることがあるごとにニュース報道でもまことしやかに囁かれてきた。その根拠をたどると百年間の連続観測記録を有する高知気象台の年平均気温の時系列変化を見て、高知市の年間平均気温は1906年～2005年の100年間で1.81℃上昇している、これは世界平均0.7℃の2.5倍に達しているから、大変な地球規模の温暖化が進んでいるにちがいないという背景につながる。しかし、気象台が高知市の中心部にあるため都市化による温度変化の影響が大きく、地球温暖化によるバックグラウンドの大気の気温変化成分がどれだけあるかは不明である。実態は、地球温暖化というよりは人工的な都市化（人工排熱と都市顕熱）の影響で気温が上昇傾向にあると解釈される。グローバルな地球温暖化の影響を調べるためには都市化の影響を全く受けていない気象庁の観測所を基準として探し出す必要があるが、全国でもまれにしかなく室戸気象台が西日本では唯一自然のバックグラウンドの大気の気温変化を長期間に亘って観測している。

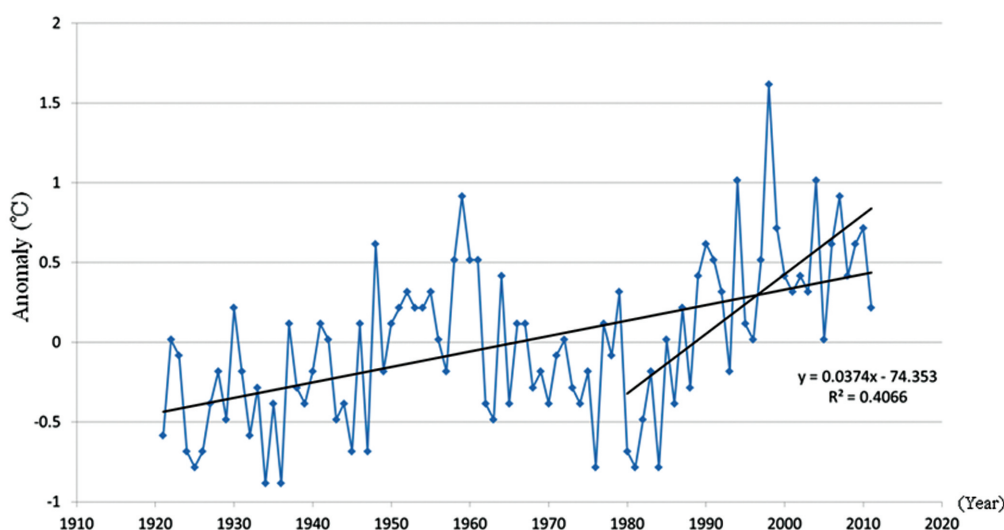


図1 室戸気象観測所における月平均気温の平年差（1920-2010年）

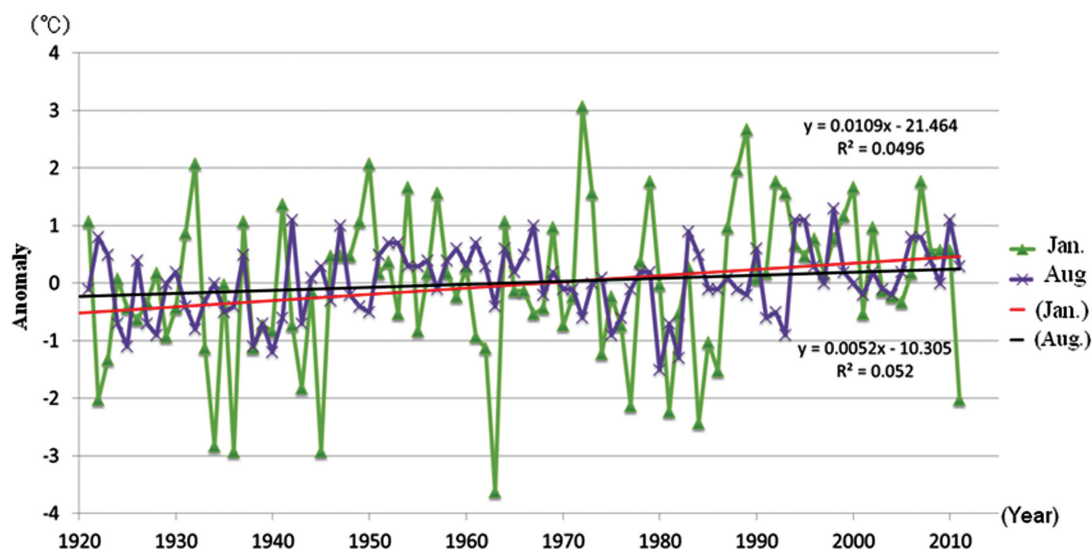


図2 室戸気象観測所における夏期と冬期の月平均気温の平年差（1920-2010年）

室戸気象台の1920年から2010年までの90年間の日平均気温を基にした年平均値と対象年との差（Anomaly）を見ると平均気温の上昇傾向は明らかであり、 0.8°C 上昇し、地球温暖化の影響が顕著に表れ始めた頃とされる1980年と昨年度2011年の日平均気温を比較すると30年間で 1.1°C 上昇している[図1参照]。とすれば、高知市の温暖化の約40%は都市化の影響による気温上昇と考えることができる。

次に、南国高知の夏期が本当に暑くなってきているのか？冬期が温暖化しているのか？夏・冬ともに温暖化しているのか？といった「いつ」、「どこで」、「どのように」高知の温暖化が進展してきたのか？に対する疑問である。室戸気象台の過去90年間の観測記録の平均値から、夏期を代表して8月の平均気温、冬期を代表して1月の平均気温、両者との差（Anomaly）をとり時系列に図化すると緩やかではあるが、8月と1月ともに気温上昇の傾向にある[図2]参照^{10, 11)}。

年平均気温の変動傾向を世界的に温暖化の影響が出始めたとされる1980年代からの時系列データを見ると、夏期の変動幅は小さいが明らかに冬期の変動幅が大きい。冬期の偏差（Anomaly）が 1°C に達していることから近年の高知の温暖化は主に冬期に進展していることになる。高知の夏はもともと暑くてビニール温室栽培が夏休みに入るが、冬は日本一の日射量に恵まれるだけでなく、世界最大規模の暖流である黒潮海流が土佐湾を流れているため温暖な海洋性気候のもとに暖地農業が発達し、特に冬場のハウス農業の経済的な位置は重要で高知県の農業生産額の約6割を野菜栽培が占めている。土佐湾に沿っ

て流れる黒潮海流と室戸気象台の観測記録が土佐湾沿岸の平地部に共通するものであれば、温暖化による野菜栽培への影響は負の影響ではなくプラスの影響につながるかもしれない。原油価格と電気料金の高騰に直撃される冬期のハウス農業は、温暖化に比例して経費の大半を占める暖房（ボイラー）費用が節減される。

しかし、害虫が増える等の問題の他に亜熱帯性の動植物の一部が越冬して生き残り高知県の生態系が大きく変化する可能性があり油断を許さない局面がすでに出てきている。南国市石土池では亜熱帯性起源の外来種であるホテイアオイが湖面に大增殖して徐々に環境を変えて（Creeping Environment Problem）大災害につながりかねない問題を引き起こしている¹²⁾。

地球温暖化適応策への取り組みは、二酸化炭素削減による対応策だけでは対応しきれないなかで、低炭素型形成の努力を続けながらも温暖化の加速度を下げながら人類が持続的に生存し発展できる社会形成を目指すことにある。その取り組みのなかで、人間だけではなく地球をとりまく環境（Umwelt）、すなわち生態系と持続的に共存出来る範囲における適応策を模索していくことが1つの課題設定であり、本論が意図するところでもある。

3. 黒潮海流

黒潮はメキシコ湾流と並ぶ世界有数の海流（暖流）で、赤道の北側を西向きに流れる北赤道海流に起源を持ち、強い流れの幅は100km程度で、流れの速さは表層部で最大で4ノット（約 7.4km/h ）、深度

600–700mでも1-2ノットに及ぶことがある。流量は概算で1秒間に2,000~5,000万m³、これは世界最大のアマゾン川の500倍である。海水温は夏期で30℃、冬期でも20℃近くなることがあり、塩分濃度が高く冬期に34.8‰に達するが夏期は34‰以下である。溶存酸素量は5mg/L前後であり、栄養塩・プランクトンが少なく透明度が高いために黒く（藍色）見えるので黒潮と呼ばれているが、語源は古く1650年にヴァレニウスが著書に記載したのが最初と記録されている。

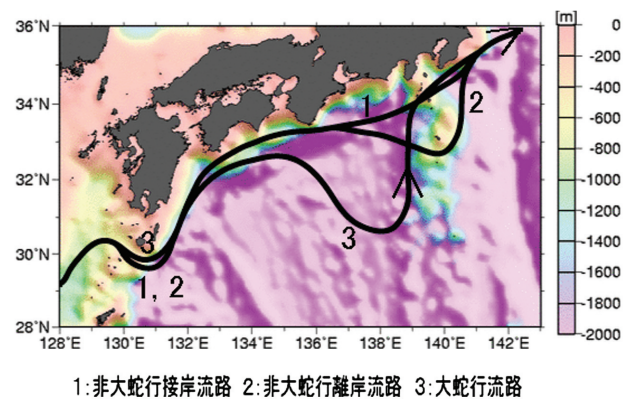
黒潮は、フィリピン・ミンダナオ東方海域から台湾、南西諸島、そして九州沖や土佐沖を経てそのまま日本沿岸の近くを銚子沖まで流れる「非大蛇行離岸流路」と、紀伊半島・遠州灘沖から南に大きく蛇行する「大蛇行流路」の二系統の流路をとる（図3、4参照）。黒潮大蛇行が発生すると、蛇行した黒潮と本州南岸の間に下層の冷たい水が湧き上がり、冷水塊が発生するため漁業関係者はその動向を注目している。1967年以降、黒潮大蛇行は5回発生しており、最近では2004年7月~2005年8月に発生している。



Source: 高知大学H.P.¹³⁾

図3 北西太平洋の黒潮海流

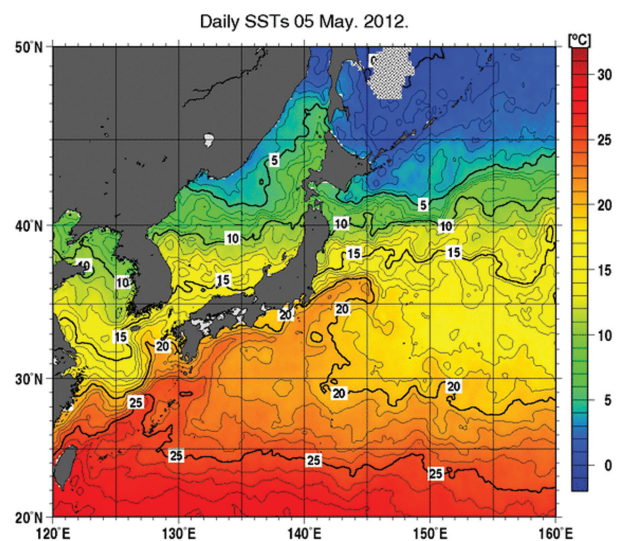
グローバルなスケールで衛星からの西太平洋の赤外面像をもとに黒潮海流の表面温度分布をみると、土佐湾沖でも黒潮海流の流束の中心部に沿って高温なゾーンが帯状に観測されている。高温帯は黒潮海流の流心部そのものを示しており、熱エネルギーの主要な供給源である北赤道海流からほぼ連続して銚子沖までつながっている（図5、6参照）。



1:非大蛇行沿岸流路 2:非大蛇行離岸流路 3:大蛇行流路

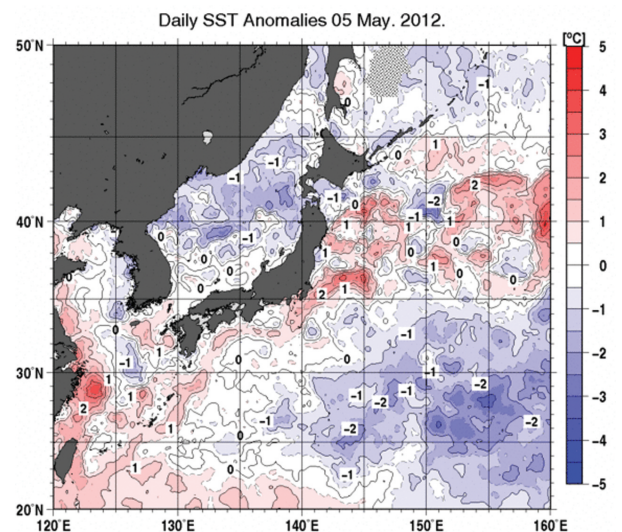
Source: 気象庁H.P.¹⁴⁾

図4 本州南岸を流れる黒潮の典型的な流路



Source: 気象庁H.P.¹⁴⁾

図5 大太平洋北西部（日本）の海水面温度（SST）



Source: 気象庁H.P.¹⁴⁾

図6 太平洋北西部（日本）の海水面温度（SST）偏差

つまり黒潮海流は太平洋の熱帯ゾーンから温帯ゾーン（日本列島）まで海洋に蓄熱された太陽熱エネルギーをはこぶベルトコンベアーの役割を果たしている。とすれば、北赤道海流が生まれる赤道と北回帰線の間の太平洋海域はエルニーニョ・ラニーニャ現象とリンクしていることになる。特にラニーニャ現象で夏期に高温水域が発達する西大西洋（カリマンタンやフィリピン東方海域）の海水を大量に北東に向けて運ぶ黒潮海流は日本南沿岸の気候変動に大きな影響を与える。高知県は黒潮海流が紀伊半島沖で大蛇行を派生する前に定常的に押し寄せる土佐湾に沿って沿岸域が発達しているため、陸・海ともに地球規模の海水温変動の影響を直接に受けるホットスポットになっている。

4. 土佐湾における海水温度変動

4.1 土佐湾における海水温度モニタリング

高知県・水産振興部・水産試験場の調査船「土佐海洋丸」は1975年から、足摺岬から室戸岬沖合までの土佐湾沿岸海洋の51定点で月1回の頻度で海洋観測を継続して実施し、深さ（最大深度200～500m）ごとの水温、塩分、透明度、流れの方向や速さとプランクトンや幼魚の量を調査している（図7参照）¹⁵⁾。観測の主目的が漁業資源の保全と再生にあることから、大陸棚の水深200mまでの0m, 10m, 20m, 30m,

50m, 75m, 100m, 125m, 150m, 175m, 200mを基本に室戸岬沖と足摺岬沖で500mまで測定を深化させている。本論で使用された観測データは多層式塩分・水温計（水深1000mまで、水温・塩分を連続して測定）で計測されているものであり、水温測定の精度は小数点以下2ケタのレベルである。

4.2 土佐湾における海水表面温度の長期観測(1975－2010)と変動傾向

過去35年間（1975－2010）に及ぶ月1回の頻度で実施された海水表面温度の実測結果（51観測地点の平均値）は夏期（8月）で26～30℃、冬期（2月）で15～18℃の間にあるが、特徴は、地球温暖化の温度上昇傾向とパターンが類似しており、冬期の水温が1985年頃から上昇傾向にあり、2010年までの25年間で約2℃上昇している（図8参照）。

4.3 大陸棚（0－200m）海域における深度別の土佐湾海水温度観測（足摺岬沖：1975－2010）

漁業資源の最も重要な海域は土佐湾沿岸の大陸棚であるため、足摺岬から室戸岬の間の51の観測点の中から6地点（T-5, 13, 23, 25, 34, 48）にて深度200mまでの観測が行われている。黒潮海流が最初に到達する足摺地点（T-5）における深度200mまでの大陸棚域における海水温度プロファイルの夏期（8月）

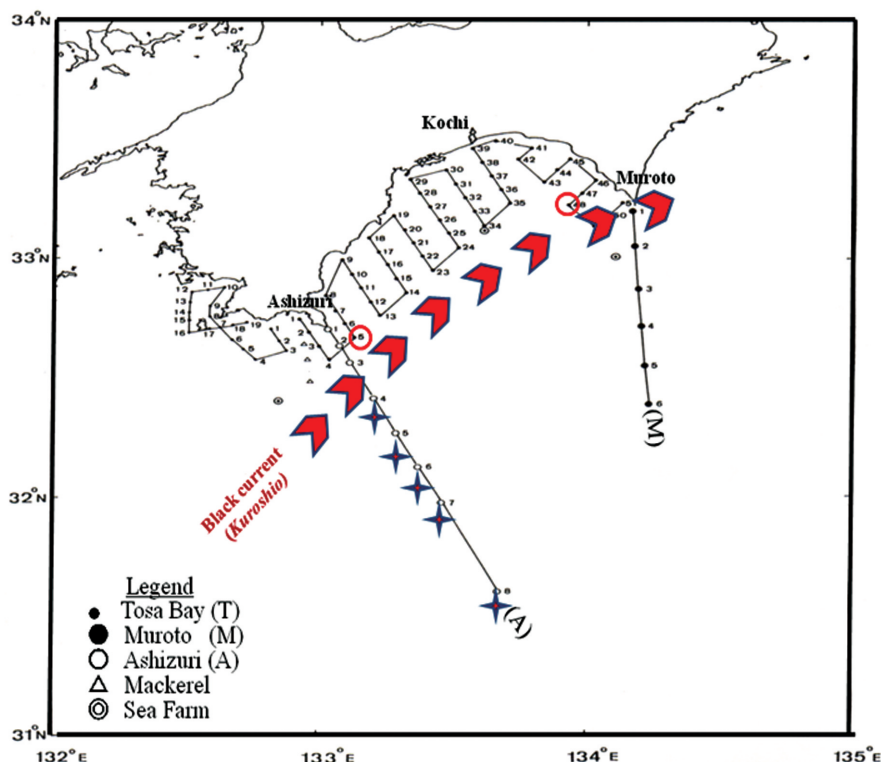


図7 黒潮海流と土佐湾海洋観測地点（高知県・水産振興部）の位置図

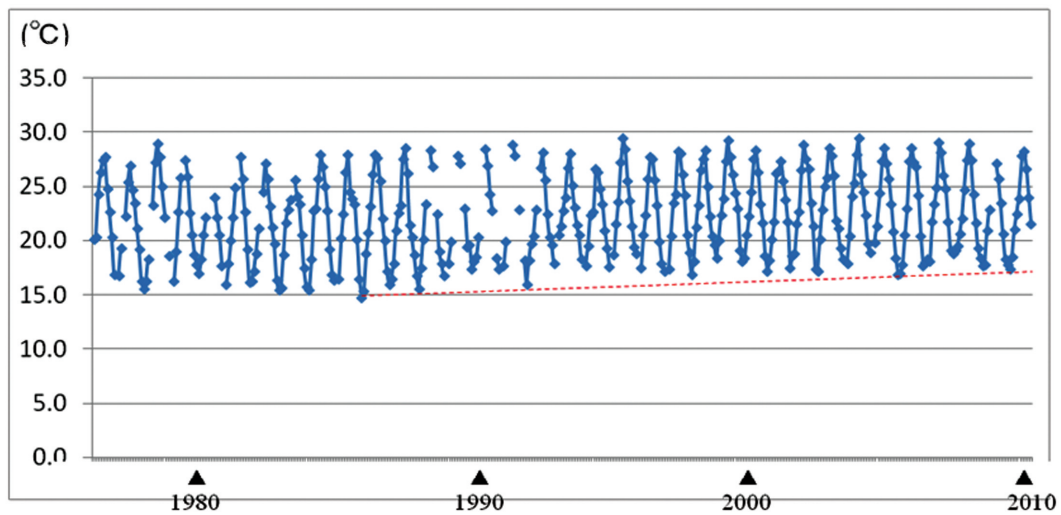


図8 土佐湾における海水面温度変化の長期（1975-2010）観測記録

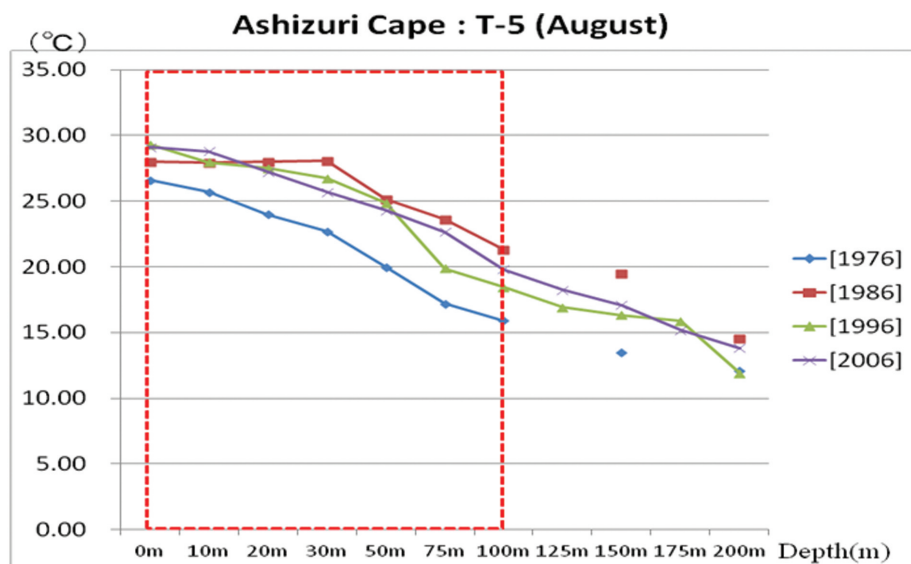


図9 土佐湾足摺岬沖観測地点における大陸棚域の深度別海水温度の時系列変動傾向（夏期）

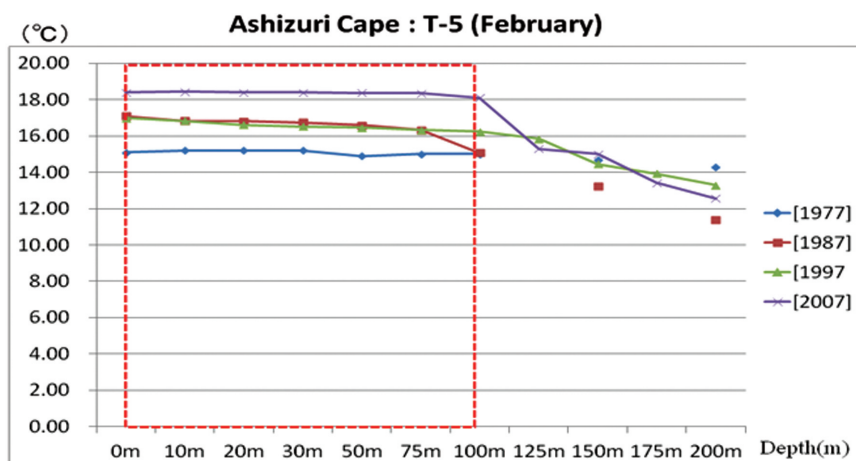


図10 土佐湾足摺岬沖観測地点における大陸棚域の深度別海水温度の時系列変動傾向（冬期）

と冬期（２月）の10年単位での時系列変化をみると、夏・冬ともに1977→1987→1997→2007年と深度50～100mの範囲では海水温度の深度別の変化は極めて少なく、かつ10年の時間のインターバルで海水温は3℃ほど上昇している（図9,10 参照）。これは当初、海水の表面が温暖化しているのであって深い海での温度変化はほとんどないという憶測とはかなり異なる結果で、温暖化による海水温度の影響範囲は200m深度に至っていることを示している。

4.4 深海（0－500m）海域における深度別の土佐湾海水温度観測（足摺岬沖）と変化傾向

土佐湾足摺岬沖の大陸棚を超える深海部（0～500m）においても海水温度の観測が追加して実施されている。2007年8月5日に沖合の5地点（A4－A8）で観測された結果をみると、深度175～200mまでは全ての深度で温暖化しているが、深度200mを超えたところから500mに至る間で温度環境は逆転している（図11参照）。足摺岬からの離岸距離に比例して表層部（0～200m）の水温は低下しているが、200mを超えた深度からは500mに至るまで温度環境が逆転している。よって深度200mは大陸棚

の境界深度として重要なバウンダリーになっているが、太陽光（エネルギー）が全く届かない深海域での温度環境も逆転している。黒潮海流の最大の特徴は世界規模の暖流であり栄養塩が少なく透明度が極めて高いこと、すなわち太陽光（エネルギー）が深度200mまでに及ぶが、それ以深は暗黒の世界であることを意味している。

5. まとめと今後の課題

高知県室戸気象観測所は都市化の影響が無い理想的な観測ポイントであり、1980年から30年間で1.1℃気温が上昇しているが、冬期の変化量が支配的である。高知県が1975年より継続的に実施している土佐湾海水温度変化の長期観測結果にもとづいた時空間的な変動特性の分析結果から、世界最大規模の暖流である黒潮海流の強い影響を受けて土佐湾の海水温度は表面部のみならず大陸棚領域の深度200mまで上昇傾向にあり、其の変動は地球規模の気候変動（温暖化）の影響が強く認められる。

大陸棚域における深度200mまでの海水温度プロフィールをみると過去30年間で海水温は3℃ほど上昇しており、温暖化による海水温度の影響範囲は

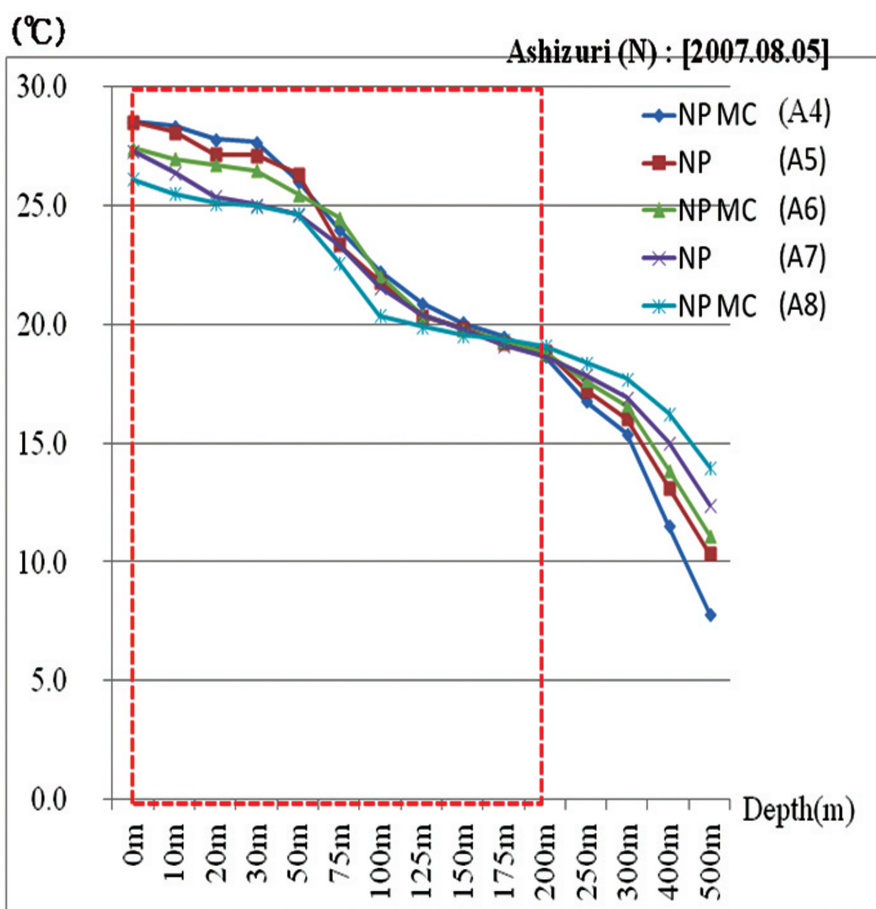


図11 深海（0-500m）海域における深度別の土佐湾海水温度観測（足摺岬沖：2007年8月）

200m深度に至っていることを示している。

Think Globally and Act Locally のコンセプトから世界の地球規模気候変動問題のホットスポットになっている太平洋熱帯・亜熱帯海域のエルニーニョとラニーニャ現象との関係を実証的に明らかにするとともに、海水と気温の変動（温暖化）が地域（高知）の生態環境や災害（洪水と渇水）にどのような影響をおよぼし、其の対応策についても検討を進めていくことが今後の課題である。

謝辞

本研究は文科省・気候変動適応研究推進プログラム（RECCA高知）の一環として実施されているもので、高知県・水産振興部・水産試験場・漁業資源課からは、過去35年間に及ぶ土佐湾海水温度観測結果をとりまとめたオリジナル資料の提供を受けた。関係各位のご理解と協力に対して記して感謝の意を表します。

参考文献・資料

- (1) 今地球の海で ―上がる海水温度― [2006]
<http://blog.goo.ne.jp/casablog/e/15204e0d9e5ce1f1a7202df146293458>
- (2) 市原一也、村上雅博（2003）土佐湾の海面海水温の上昇と集中豪雨について、第三回四万十・流域圏学会・学術研究発表会、講演要旨集、pp.31-32
- (3) 市原一也、村上雅博（2004）海水温上昇にともなう大気中の水蒸気量の変化についての予備実験、土木学会四国支部第10回技術研究発表会、講演要旨集、pp.86-87
- (4) 田中悠介、村上雅博（2007）高知県における異常気象災害の頻発化と確率降雨劣化現象の評価、土木学会第15回地球環境シンポジウム、講演要旨集、pp.255-260
- (5) 田中悠介（2006）高知県における異常気象災害の頻発化と確率降雨劣化現象の評価、高知工科大学フロンティアプロジェクト（卒業論文）、pp.1-32
- (6) Takahashi,I.,(1999)Different mortality in larval stage of Ayu *Plecoglossus altivelis* by birth dates in the Shiman-to estuary and adjacent coastal waters, fisheries Sci. 65(2), pp.206-210
- (7) Imamura, R., Nakata, H., and Murakami, M., (2001) Influence of Global warming on the ecosystem of migratory fishes., Proceedings of IWA (International Water Association) 2nd World Water Congress, Berlin, Poster-B0366
- (8) 今村里奈、村上雅博（2001）地球温暖化とラニーニャ現象が高知県に与える影響について、土木学会四国支部第7回技術研究発表会、講演要旨集、pp.126-127
- (9) 宮崎智子、中田博子、村上雅博（2001）河川魚類生態系変化と地球温暖化の影響についての一考察 ～四万十川（日本）とエルワ川（米国）との比較研究～、土木学会四国支部第7回技術研究発表会、講演要旨集、pp.158-159
- (10) 北村砂紀（2012）温暖化が進行する高知県におけるエンサイ栽培の可能性、高知工科大学・フロンティアプロジェクト（修士論文）、pp.1-32
- (11) 気象庁、統計情報 [2012]
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>
- (12) Murakami, M. and Nishiyama, A., (2012) Creeping Environment Problem of Rapid Growth of Water Hyacinth in the Shallow Reservoir of Ishiduchi with Influence of Global Warming at Warm Temperate Region in Japan, Journal of Japan Society of Water Policy and Integrated River Basin Management, Vol.1, No.1, pp.25-33.
- (13) 高知大学、黒潮圏科学 [2000]
<http://kuroshio.cc.kochi-u.ac.jp/contents/outline/greeting.html>
- (14) 気象庁、海水温・海流のデータ [2012]
<http://www.data.kishou.go.jp/db/kaikyo/dbindex.html>
- (15) 高知県、黒潮を中心とした海の状況の調査と漁業との関連性の研究 [2004]
<http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/040409/soshikienkaku-gyogyoushigenka.html>

Global Warming and Space-Time Series Temperature Changes of Sea Water in and around the Tosa Bay

Masahiro Murakami*

(Received: May 14th, 2012)

School of Environmental Science and Engineering, Kochi University of Technology
185 Miyanokuchi, Tosayamada-cho, Kami city, Kochi 782-8502 Japan

E-mail: *murakami.masahiro@kochi-tech.ac.jp

Abstract: Purpose of this study is to clarify the best position of Kochi prefecture in the global warming research field in Japan, which is located along the coastal line of Tosa bay with main stream line of Kuroshio (Black Ocean Current). It is to analyze the long-term change in sea water temperature from 1975 to 2010 up to the depth of 500m. The air temperature at Muroto meteorological station, which is located at the end of cape without any influence from urbanization, has been increasing by 1.1 °C in winter season from 1980 to 2011. The annual average sea surface water temperature has also been increasing by 2 °C in winter season from 1985 to 2010. The global warming influences not only at surface sea water but also sea water in the depth of 200m in the ocean. The influence of global scale climatic changes such as El-nino and La-nina and the adaptation policy on the natural disasters including droughts, floods, agriculture and eco-system in Kochi is also being studied in the Research Program on Climate Change Adaptation (RECCA-Kochi).