

磯焼けの話⑬ 地球温暖化は海流にどのような影響を及ぼすか？

～海洋を循環する表層海流と異常気象（1）～

技術士（衛生工学・建設・環境） 鍵谷 司

1. はじめに

前回の「環境施設」第165号（2021.9）では、「琵琶湖の深呼吸」と題して、地球温暖化に伴って湖水の水温が上昇し、表層部と底層部との対流が抑制され、生態系への影響が懸念されることを紹介した。循環が不十分になると、溶存酸素に富んだ表層水が底層へ、栄養分の豊富な底層水が表層へ移流する力が弱くなる。その結果、底層水は酸素不足に陥り、表層水は栄養不足になり、生態系へ大きな影響を及ぼすのである。

当然、地球温暖化は、海洋における海水温の上昇を伴うので、対流や循環あるいは海流に大きな影響を及ぼすと予想される。温暖化により大気や海洋がより一層暖められるので、大気や海水が膨張して体積が増える。このため、強い高気圧や低気圧が発生して気流、あるいは海洋の海流に大きな影響を及ぼす。一方、温暖化により北極海の氷が融けていると聞く。氷が融けると真水が増えるので、塩分濃度が低下し、海水は軽くなる。表層水の沈み込みが弱くなると深層海流にも大きな影響を及ぼしそうである。最近の地球規模で発生する異常気象とどのような関連があるのであろうか？

気象庁は、今年の冬は「寒い」と予報しており、その原因をラニーニャ現象が起こっているためと発表した。また、エルニーニョ現象が発生すると異常気象になるとも聞く。まずは、地球温暖化による大気や海水温の上昇が、気象や海洋の表層海流にどのような影響を及ぼし、また、エルニーニョ現象及びラニーニャ現象とは何かについて調べてみた。

2. 地球温暖化と海流について

日本近海の表層を流れる海流は、日本沿岸部の気象や漁業に大きな影響を及ぼす。とくに、太平洋側を北上する暖流の黒潮や日本海やオホーツク海に南下する寒流が重要である。また、太平洋赤道域から南米沿岸にかけて海面水温の高低により異常気象を引き起こすエルニーニョ現象やラニーニャ現象が毎年大きなニュースになる。つまり、遠く離れた南米付近の海水温の変動が日本の気候にも大きな影響を及ぼす（図1、図2）。

ところが、このような表層海流による気候変動は、実は深層海流により引き起こされていることが明らかになっている。前回の「琵琶湖の深呼吸」では、地球温暖化に伴う水温上昇が、表層水と底層水の循環を弱めることを述べたが、当然、海水温の上昇は、海洋の対流、循環を促す「深層海流」に大きな影響を及ぼし、生態系のみならず地球規模での異常気象を引き起こす。

このまま地球温暖化が進行した場合、どのような異常気象が起こるのであろうか？

2.1 表層海流の発生と気象影響

【表層海流について】

日本近海の表層を流れる海流は、図1に示すように「赤道付近から北上する暖流の黒潮」や「千島列島に沿って南下する寒流」がある。図2に示した地球規模の海流の流れ図のように、強い太陽光を受ける赤道付近の高温地帯と太陽光の弱い北極や南極付近の低温地帯と温度差が生じる。つまり、温度の高い赤道付近では、水温が上昇して膨張し、海面の水位が高くなり、他方、温度の低い



図1 日本近海の表層海流（暖流と寒流）¹⁾

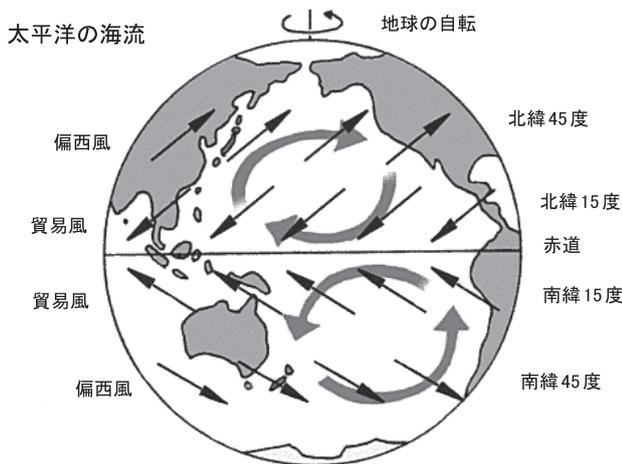


図2 気流（風）及び海流の発生と流れ²⁾

極地では重くなり沈むので海面は低下する。このため、赤道から極地へと流れる海流が発生する。また、熱帯では、海水の蒸発が盛んになるとともに大気の膨張により風が発生し、恒常風、偏西風や貿易風の源になる。このままでは大気や海流の流れは赤道から極地の上下方向に向かうことになる。ところが、地球が自転しているので、コリオリの力を受けて北半球では右方向に、南半球では左方向に曲げられて循環する海流や偏西風や貿易風（偏東風）が発生する。さらに、この強い風の力によっても海流が発生する。この地球規模で起こる海流変化や気流の変動が日本近海の暖流や寒流にも大きな影響を及ぼす。

つまり、赤道付近の強い太陽光による海水の温度上昇による膨張や蒸発促進、他方、極地地域の水温低下に伴う沈み込みによる海水位の高低差が海流を生み出し、地球の自転に伴うコリオリの力により曲げられ、あるいは強い風によって海流が生じる。その流れが大陸や海底地形により止められて循環海流となるのである。このことは、海は繋がってはいるが、混じり合わないことを示唆する。

【エルニーニョ現象とラニーニャ現象について】

さて、毎年、日本の気象に大きな影響を及ぼすエルニーニョ現象とラニーニャ現象が大きなニュースになる。太平洋赤道域から南米沿岸一帯にかけて起こる海面水温の変動による気象への影響である。これが遠く離れた日本の気候にも大きな影響を及ぼす。2021年11月4日に気象庁から「ラニーニャ現象」発生時にみられる現象により、「上空の偏西風が日本付近で南に蛇行し、日本付近に寒気が流れ込みやすくなり、九州など西日本では、急に冬の寒さになり、西日本でも山で雪が降ることがありそう」と発表された。

これらの現象は、太平洋赤道域の日付変更線付近から南米沿岸にかけて海面水温が平年より高くなったり、低くなったりすると（図4、図5）、日本を含め世界中の異常な気象を引き起こす要因になると考えられている。エルニーニョ現象は、この海域の海面水温が平年より高くなり、その状態が1年程度続く現象で、ラニーニャ現象は、逆に平年より低い状態が続く現象である。その結果、次のような気候変動を引き起こすことが知られている。

- ①平常時の状態（図3上）；地球の自転の力によって太平洋の南米沖では深層から冷たい海水が湧き上がり、表層では常に東風（貿易風）が吹く。このため、赤道付近の暖かい表層水が太平洋の西側に吹き寄せられ、西側の陸地に遮られてインドネシア近海では表層の暖かい海水が深度数百mまで蓄えられる。その結果、海面の水温は太平洋赤道域の西側で高く、

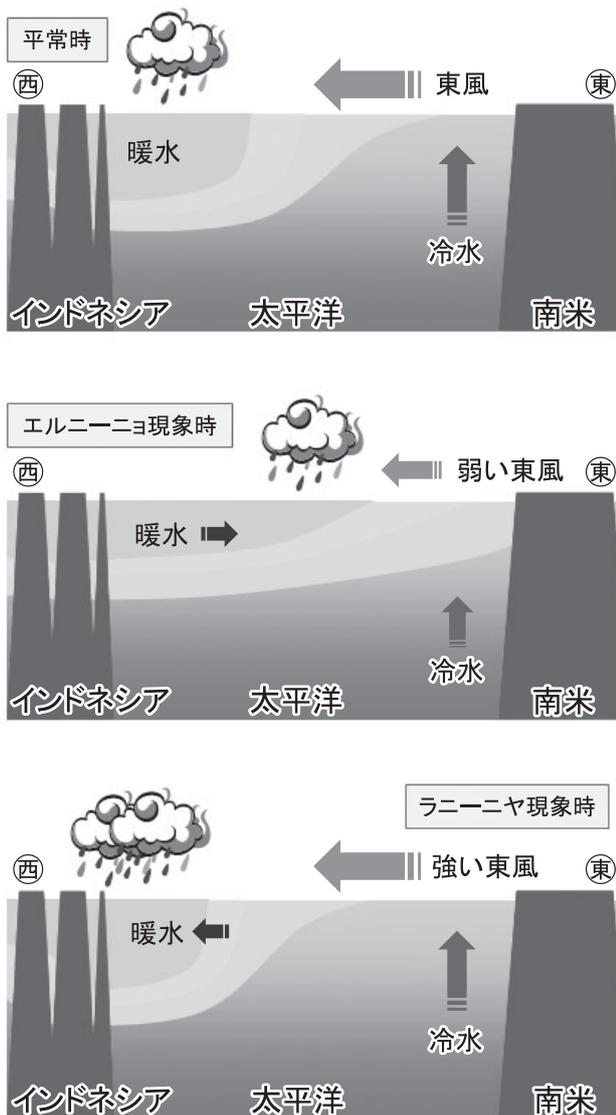


図3 エルニーニョ／ラニーニャ現象に伴う太平洋熱帯域の大気と海洋の変動³⁾

東側は低い。とくに、西側の海面の水温が高いので蒸発が盛んになり、大気中に大量の水蒸気が供給される。

- ②エルニーニョ現象時の状態(図3中)：南米沖で冷たい水の湧き上がりが平常時よりも弱まると、東風が平常時よりも弱くなり、西側に溜まっていた暖かい海水が東方へ広がるとともに、太平洋赤道域の中部から東部では、海面水温が平常時よりも高くなる。海面からの蒸発で生成される積乱雲が盛んに発生する海域が平常時より東へ移る。

その結果、西太平洋熱帯域の海面水温が低下し、水蒸気の発生が不活発となる。このた

め日本付近では、夏季は太平洋高気圧の張り出しが弱くなり、気温が低く、日照時間が少なくなり、西日本の日本海側では降水量が多くなり、冬季は西高東低の気圧配置が弱まり、気温が高くなる傾向が生じる。

- ③ラニーニャ現象時の状態(図3下)：南米沖では冷たい水の湧き上がりが平常時より強くなると、平常時よりも東風が強くなり、西側に暖かい海水がより厚く蓄積するため、太平洋赤道域の中部から東部では、海面水温が平常時よりも低くなる。インドネシア近海の海上では積乱雲がいつも盛んに発生する。

その結果、西太平洋熱帯域の海面水温が上昇し、西太平洋熱帯域で水蒸気の発生が盛んになる。このため日本付近では、夏季は太平洋高気圧が北に張り出しやすくなり、気温が高く、沖縄・奄美では南から湿った気流の影響を受けやすく、降水量が多く、冬季には西高東低の気圧配置が強まり、気温が低くなる傾向が生じる。

以上のように、日本を含めて世界の異常気象を引き起こすエルニーニョ現象及びラニーニャ現象は、太平洋熱帯地域における太陽光による海水温の上昇が大きく関わっており、地球温暖化が進むと、より多くの水蒸気が供給され、強い気流が発生し、異常気象を引き起こすことが予想される。一見、赤道付近の海水温の上昇の変動がこのような現象を誘引するように思われるが、実は、図3及び図4に示すように、このような暖流の西側への偏りは、南米沖付近で深層から湧きあがる冷たい海水により引き起こされている。地球温暖化が赤道付近の海水温の上昇に目を奪われがちであるが、温暖化の影響は、この冷たい深層海流の生成や流れにより大きな影響を及ぼすことに注目する必要がある。

2.2 海水温の変動と二酸化炭素の排出・吸収について

地球温暖化による異常気象が、太平洋赤道域か

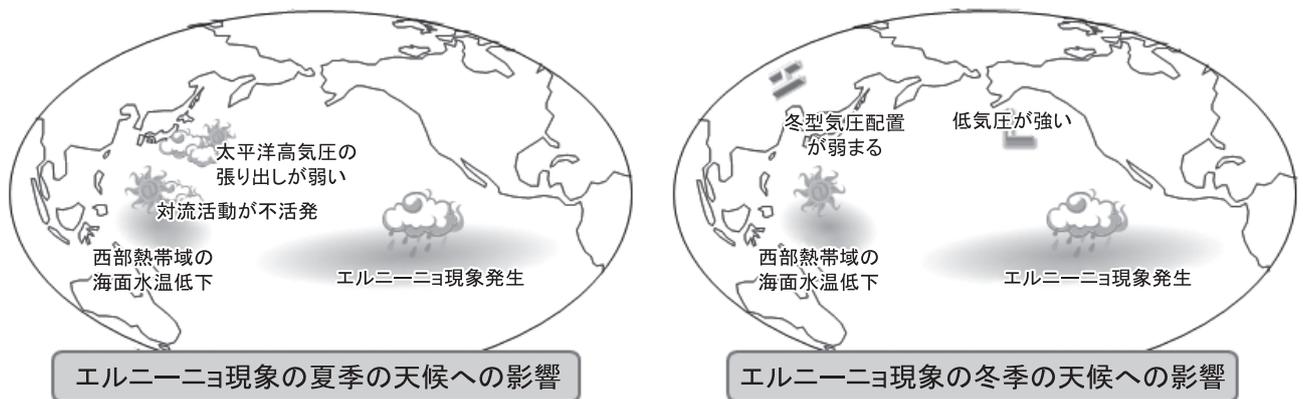


図4 エルニーニョ現象が日本の天候に影響を及ぼすメカニズム⁴⁾



図5 ラニーニャ現象が日本の天候に影響を及ぼすメカニズム⁴⁾

ら南米沿岸一帯にかけて海面水温により起こされることを紹介した。

ところで、「環境施設」第164号(2021.6)において海洋の二酸化炭素(以下、CO₂と記す)の排出と吸収について寄稿した。その内容は、人為的なCO₂排出量の約26%が海洋に吸収されているが、海水温が高くなると吸収されていたCO₂が大気中へ放出され、大気濃度が上昇することを紹介した(図6、図7)。

【海水温と二酸化炭素(CO₂)の溶解について】

気体(ガス)は、水温が高くなると溶解度が小さくなる。図6は、1気圧のCO₂が水1リットルに溶解する量をモルで示した。なお、CO₂の1モルは44gであるので、0℃では0.0768モル、重量で3.37g溶存するが、水温が20℃に上昇した場合には0.039モル、1.7gしか溶存しない。つまり、1リットル当たり約1.7gが放出されることになる。

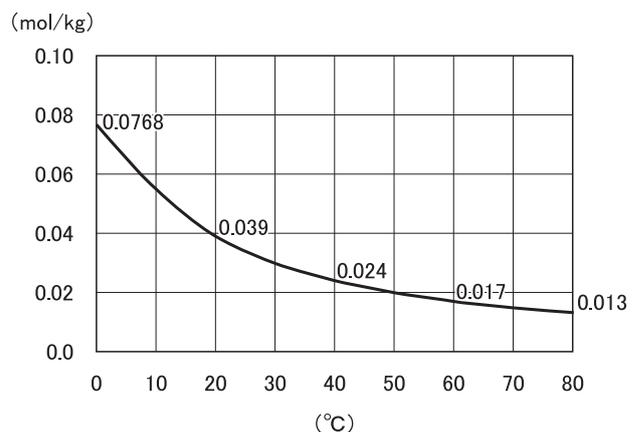


図6 水温と二酸化炭素の溶解度の関係

仮に海洋表層水の海水温が20℃とした場合、海水温が1℃上昇するとCO₂の溶解量はおおよそ2%程度減少するので、その分が大気へ放出される。

また、海洋における深度方向の水温分布は、4℃までは水温が低くなるにしたがって密度が大きくなるので低くなる(図6)。水温が低いほどCO₂の

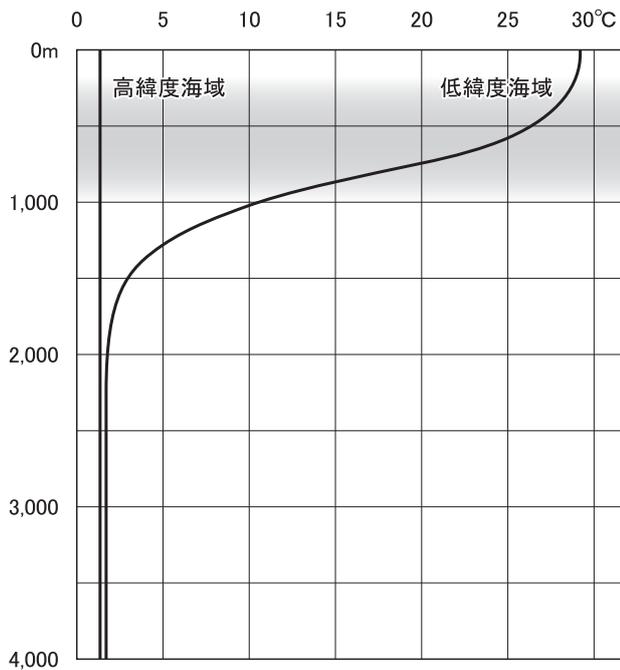


図7 深海の海水温度⁵⁾

溶解度が大きくなるので、多く溶存している。つまり、水温の低い中・深層水が表層に湧昇して水温が高くなると、CO₂の溶解度が小さくなるので、大気へ放出することを意味する。当然、表層水も水温上昇により、溶存していたCO₂が大気へ放出されることになる。なお、水は4℃で最も重くなるので、水深1,000m以深では一定になる。つまり、いくら温度が下がっても深海は凍らないのである(図7)。(※真水は0℃で凍るが、塩分濃度の高い海水は、約-2℃で凍る。)

赤道付近から南米沖の表層海流の海水温の変動がエルニーニョ現象やラニーニャ現象を発生させ、異常気象を引き起こすことに目を奪われがちであるが、表層海水の水温変動は、溶存していたCO₂の排出や吸収に大きな影響を及ぼすことを忘れてはならない。

【エルニーニョ／ラニーニャ現象時における二酸化炭素(CO₂)の放出について】

太平洋赤道域は、CO₂の放出量が特に多い海域であり、また、その放出量はエルニーニョ／ラニーニャ現象時とそれ以外の時では大きく変わるため、全海洋のCO₂吸収量の年間の変動に最も大きな影

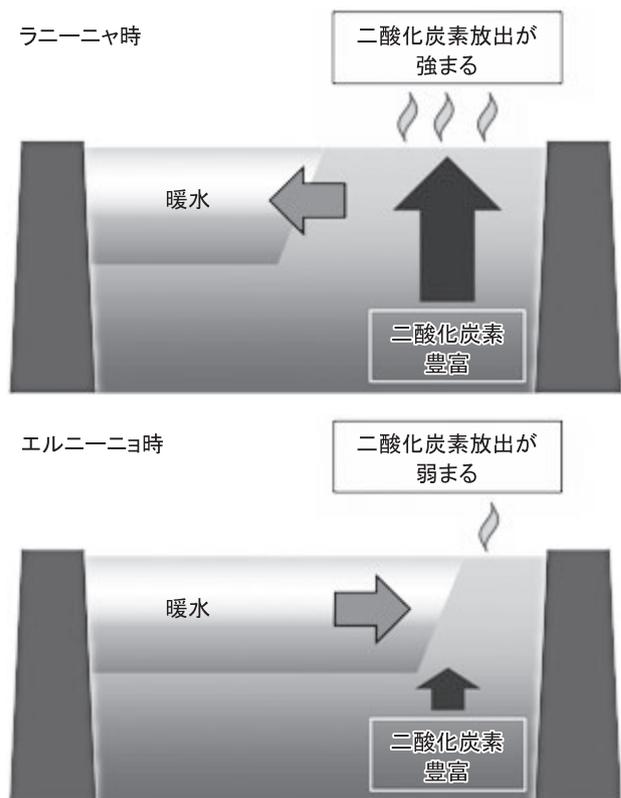


図8 エルニーニョ／ラニーニャ現象時における二酸化炭素の放出

響を及ぼす。太平洋赤道域では、通常、東部でCO₂を多く含む下層の水が湧昇すると暖められて水温が上昇するので、CO₂の溶解度が低くなり、溶存していたCO₂が放出される。つまり、エルニーニョ現象時(図8上)には、湧昇が弱まる、つまり、海水温の上昇が弱まるのでCO₂の放出が少なくなり、逆にラニーニャ現象時(図8下)には、湧昇が強まり、CO₂の放出が多くなる。なお、放出量や地球温暖化に対する影響の程度は調べきれなかった。

まとめ

今回は、地球温暖化が進行した場合、大気、海洋に及ぼす影響について調べた。とくに、表層海流に注目してその発生から気象に対する影響等に着目した。これらの基本的な特徴を簡略にまとめると次のようになる。なお、誌面の都合で簡略化しているので、詳細は引用・参考文献を参照して下さい。

- ①地球温暖化により赤道付近の海洋水温が上

昇すると、海洋が膨張して水位が高くなり、表層海流が発生する。なお、大気温度上昇により膨張するので、気流の流れ（風）を生かせる。

- ②赤道付近の海洋の温度上昇によりエルニーニョ現象やラニーニャ現象が起こり、日本を含む世界の気象に大きな影響を及ぼす。
- ③海洋の温度上昇により、溶存していたCO₂が大気へ放出され大気中濃度が上昇するので、影響は非常に大きい。
- ④気温上昇に伴う気流や海流は赤道付近と極地方向へと上下の流れが生じるが、地球が自転しているので、曲げられ（コリオリの力）、北半球と南半球では逆方向の力が働く。

おわりに

日本を含む世界の気候に大きな影響を及ぼす太平洋熱帯地域から南米沖の海洋の水温変化がエルニーニョ現象やラニーニャ現象を引き起こし、異常気象を生かせることを紹介した。

しかしながら、熱帯における海水温の上昇の本質は、南米沖において深層から湧昇する冷たい海流の挙動に影響を受ける。地球温暖化に伴う赤道付近の水温上昇は、大気や海水の膨張を促し、水蒸気の供給、積乱雲の発生、偏西風や季節風など気象に大きな影響を及ぼすが、本当は、冷たい深層海流への影響が大きく、地球の気象に深刻な影響を及ぼしかねないことが懸念されている。

次回の第167号においては、海洋を循環する深層海流について取り上げて最終回としたい。

〈引用・参考文献〉

-
- 1) キッズ日本海学；日本海学推進機構
 - 2) (公財)日本海事広報協会 海と船なるほど豆事典（たかはしくにお／関口 昌）
 - 3) エルニーニョ／ラニーニャ現象とは；気象庁
 - 4) 日本の天候に影響を及ぼすメカニズム；気象庁
 - 5) 磯焼けの話⑰ 二酸化炭素の排出と吸収について(Ⅲ) ～海洋におけるCO₂の排出と吸収について～；環境施設、第164号、pp.70～75 (2021.6)