

# 日本周辺の太平洋の海水温 — CO<sub>2</sub> ハイドレート貯留の温度条件 —

池川 洋二郎<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 正会員 電源開発 (株) 技術開発部 茅ヶ崎研究所 (〒 253-0041 神奈川県茅ヶ崎市茅ヶ崎 1-9-88)

Email: Yojiro-Ikegawa@jpower.co.jp

CO<sub>2</sub> 回収・貯留 (Carbon dioxide Capture & Storage, CCS) において、当社の CO<sub>2</sub> 地下貯留の第 2 選択肢として、CO<sub>2</sub> ハイドレート貯留を研究している。この方法では、地質・地層の構造より、CO<sub>2</sub> ハイドレートの生成と安定を支配する温度・圧力が重要である。圧力は静水圧と考えているが、温度は海流や緯度に影響を受けない、海水温が一定の海底下地層が適していると考えられる。そこで、北西太平洋の約 140 万のデータを海水温-圧力の関係、及び海水温-緯度の関係に整理した結果、水深千数百 m 以深では、表層の海流や緯度による海水温の変化が小さく一定であるので、CO<sub>2</sub> ハイドレート貯留に適した海底下地層の存在が期待される。

**Key Words** : carbon dioxide, CO<sub>2</sub> hydrate, seawater temperature, pasific ocean

## 1. 緒言

国の基本計画の根幹になっている地球温暖化対策計画<sup>1)2)</sup>では、既存のエネルギー供給網に CCS を付加することで、安定供給と低/脱炭素が期待されている。

この CCS における CO<sub>2</sub> 地下貯留の第 1 選択肢は、国が主導する帯水層貯留 (Deep Saline Aquifer, DSA)<sup>3)</sup>であるが、当社では第 2 選択肢として CO<sub>2</sub> ハイドレート貯留<sup>4)</sup>の研究も行っている。

DSA は、石油・天然ガスが溜まった泥岩層などの自然の遮蔽層を利用して CO<sub>2</sub> を貯留する方法で、欧米では商用化に向けて進捗している。一方、日本の貯留適地調査<sup>5)</sup>は進捗しているが、商用の貯留地点は決まっていない。

また、商用生産が行われている国内の油ガス田については、鉦区権の所有者は、将来の技術開発を想定した経済性を見込み、CO<sub>2</sub> 貯留による経済性は不確定としていると思われる。

一方、油ガスが発見されていない国内地域については、プレートテクトニクスによって日本列島の地質構造は複雑であるため、油ガスが溜まるような遮蔽層がないことを示しているように思われる。あるいは、遮蔽層の存在を明確にするには、油ガスが溜まった事実が必要になるのではないかとと思われる。

そこで、遮蔽層などの地質構造より、温度・圧力が支配的になる CO<sub>2</sub> ハイドレート貯留<sup>6)</sup>の可能性について

研究を進めている。既に、CO<sub>2</sub> ハイドレートの基本的性質<sup>7)</sup>は研究されていて、自然の CO<sub>2</sub> ハイドレートが海域で発見されている<sup>8),9)</sup>。貯留対象層は、CO<sub>2</sub> ハイドレートが固体として安定する温度・圧力 (例えば 10 °C 以下で 4.5MPa 以上) の海底下の第四紀堆積層 (現在 ~256 万年前<sup>10)</sup>) などを想定している。

著者は CO<sub>2</sub> ハイドレート貯留に関して、日本周辺海域のポテンシャル海域と貯留可能量の評価<sup>6)</sup>や、想定する CO<sub>2</sub> ハイドレートの遮蔽層に CO<sub>2</sub> の浮力によって作用する圧力の計算例<sup>11)</sup>などを報告している。

この CO<sub>2</sub> ハイドレート貯留は、通年、海水温が一定である海域・水深の海底下地層が適していると考えられる。また、地温勾配は 30 °C/km<sup>6)</sup>程度を想定している。なお、海底面と海水は接しているため、海底面近傍では両者の温度は一致し、海水温から海底面温度が推定できると考えている。

そこで本報告では、海域、緯度、水深などが、どの程度、海水温の変化に影響しているのか、既存のデータ整理を行ったので結果を報告する。

以下、2. には、日本周辺の太平洋の海水温-圧力の関係を示し、3. に考察・結語を示す。

## 2. 北西太平洋の海水温

図-1 は、気象の予測などに利用される Argo データ<sup>12)</sup>の位置 (緯度・経度) を示し、北西太平洋を網羅していて、各点の水深方向にも多数のデータがある。本報告で

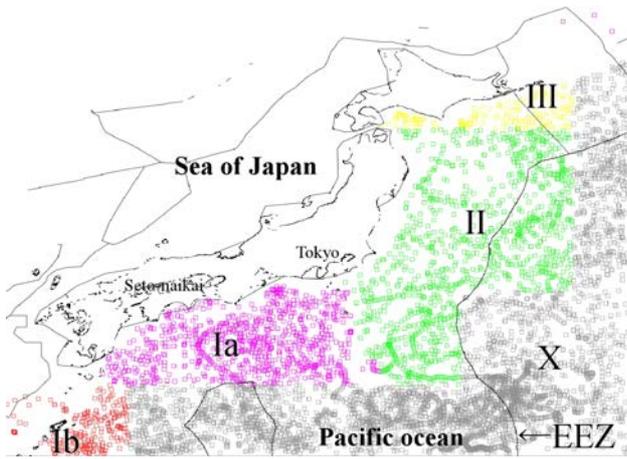


図-1 日本周辺の太平洋における利用した Argo データの緯度・経度のプロットと海域  
Analyzed and plotted by using the data of Argo project<sup>12)</sup>.  
沖合の黒線：排他的経済水域 (EEZ, Exclusive Economic Zone).

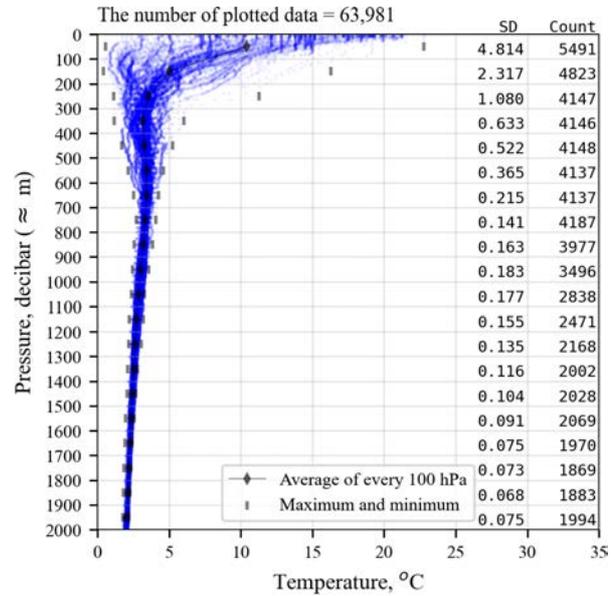


図-3 海域 III の海水温-圧力の関係  
Argo データ<sup>12)</sup> を用いて作図。海域 III は図-1 参照。SD は標準偏差。  
Count は各圧力範囲のデータ数。

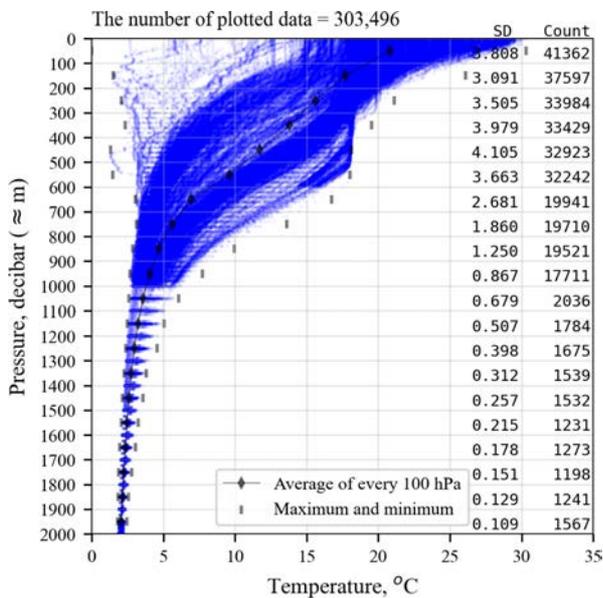


図-2 海域 Ia の海水温-圧力の関係  
Argo データ<sup>12)</sup> を用いて作図。海域 Ia は図-1 参照。SD は標準偏差。  
Count は各圧力範囲のデータ数。

利用したデータの期間は、2014 年度-2017 年度で、データ総数は約 140 万である。

なお、Argo データの圧力単位は、decibar (=100hPa) で、圧力 (decibar) ≈ 水深 (m) なので、本報告では圧力を用いて説明する。

図-1 の海域は、気象庁の海流の解説<sup>13)</sup> を参考にして分割している。Ia と Ib は、暖流の黒潮が海水温を支配する海域、II は黒潮と親潮 (寒流) が混合する海域、III は親潮が海水温を支配する海域、X は海流の影響が小さく、平均的な太平洋の海水温と考えた海域である。

図-2 と図-3 は、海水面近傍の海水温の分布が異なる海域 Ia と海域 III の海水温-圧力の関係を示す。100 decibar

ごとの平均値は ◆、最大値と最小値は | のマーカーで示す。また、標準偏差  $SD = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^{\frac{1}{2}}$  と、データ数 (Count) は、数値を示す。

図-2 と図-3 のデータ数は、各図の上部に記載するように、それぞれ約 30 万と 6 万と非常に多い。そこで、プロット点を透過度 10% で表示し、10 点が重なると色の濃さは最大になり、10 点以上の密は判別できないが、10 点未満の粗の程度が視覚的に分かる。例えば、図-2 の 0-100 decibar の海面付近に着目すると、色が薄い 0°C ~ 16°C はデータが粗である。

図-2 と図-3 の同圧力ごとの最大値と最小値の差を比べると、海域 III より海域 Ia の方が、海水温の変化が大きい、これは海域 Ia が黒潮の流路であるためと思われる。例えば、標準偏差が 0.5°C 未満で、温度変化が小さい圧力は、図-2 では 1,200 decibar 以上、図-3 では 500 decibar 以上である。

一方、図-2 と図-3 は共に、圧力が高くなると標準偏差は一律に低下する傾向があり、水深が深いほど海水温の変化が小さくなっている。また、標準偏差が 0.2°C 未満の海水温は、海域 Ia と海域 III は、ほぼ一致し、水深が深くなると、温度一定の海水が水平に広がっている可能性がうかがえる。

次に緯度が、どの程度、海水温に影響するのかを確認するため、図-1 の海域 Ia, Ib, II, III, X の全データを用いて、海水温-緯度の関係を図-4 に示す。また、図-4 の各図の右上に圧力の範囲を示す。

図-4 では、例えば 1,000-1,100 decibar の海水温は、最大 (6.1°C) と最小 (2.3°C) の差が大きい、圧力が高くなると、最大と最小の差が小さく、また、海水温の平

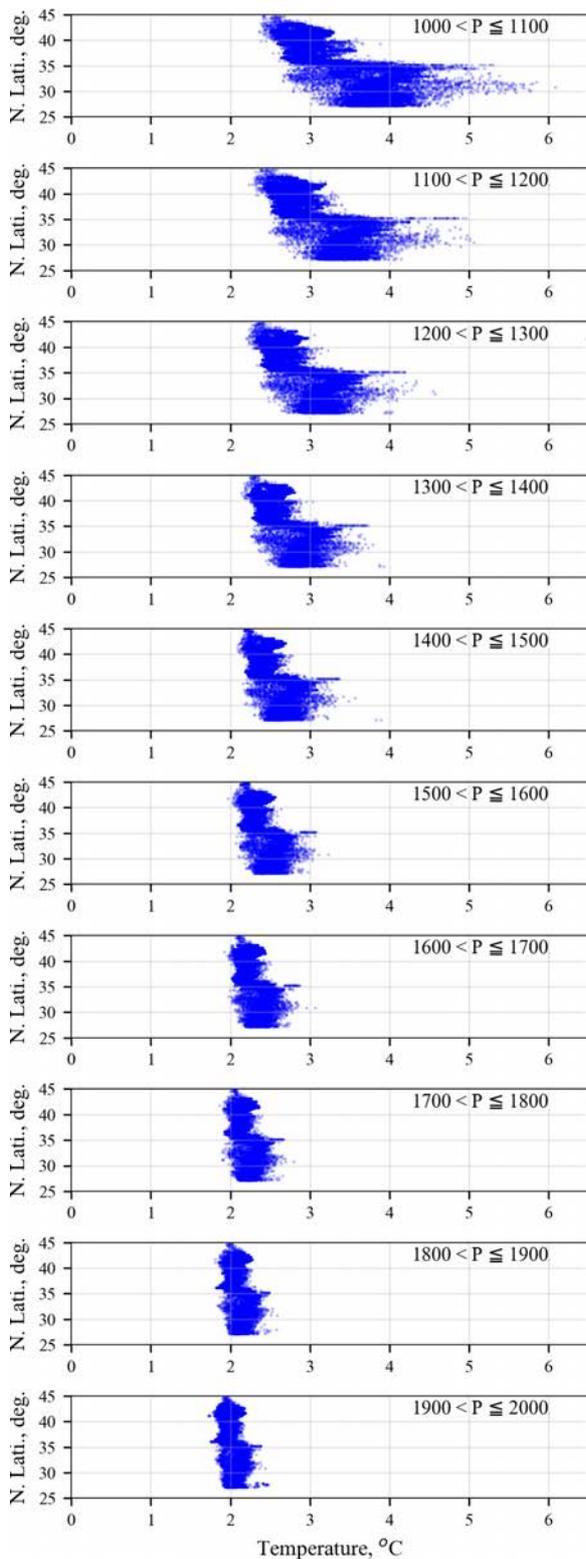


図-4 100 decibar ごとの海水温-緯度（北緯）の関係  
Plotted using Argo data<sup>12)</sup>.

均値も低くなる。また、北緯 36° 付近に温度分布の境があるように見え、黒潮と親潮の優勢海域の境界と思われる。なお、北緯 36° は、太平洋側では千葉県の方九十九里浜に位置する。

この北緯 36° 付近の境界は、1,800 decibar までであるよ

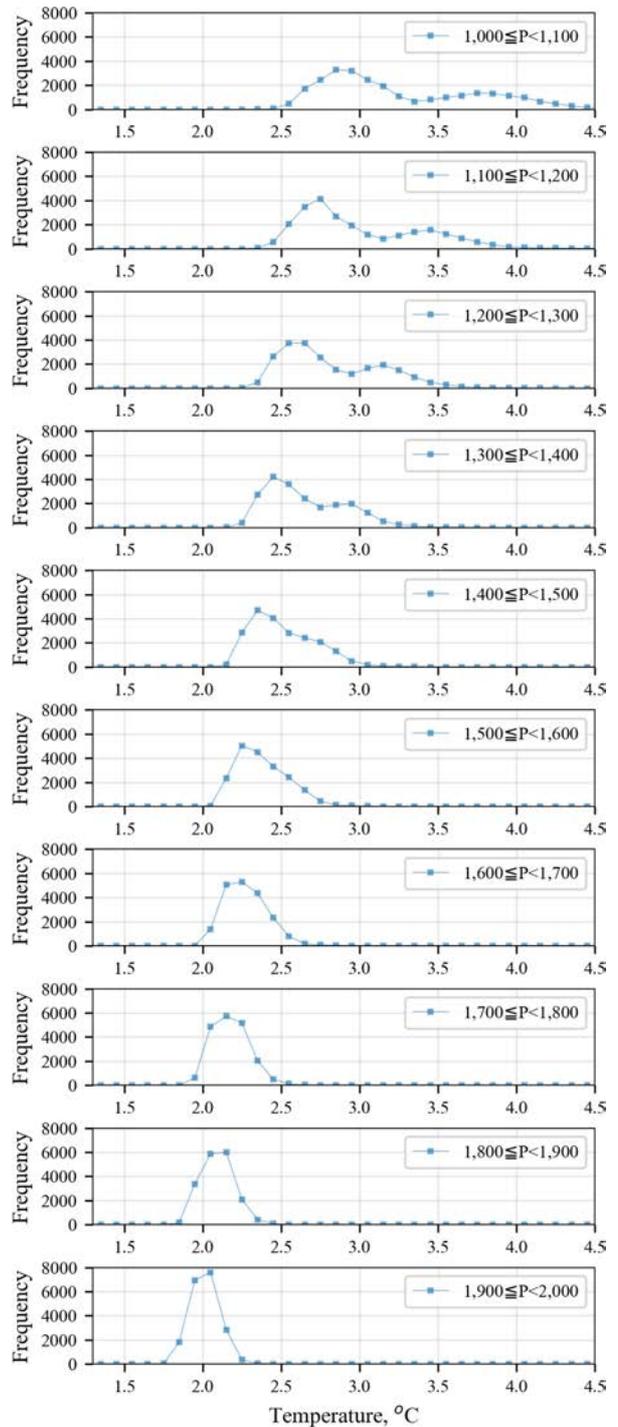


図-5 100 decibar ごとの海水温-度数の関係  
Plotted using Argo data<sup>12)</sup>.

うに見えるが、1,800 decibar 以上では、温度は 0.5-0.6 °C の幅に収まり、緯度の影響は小さい。

また、図-5 は、海水温-度数の関係を示し、例えば 2.0 °C 以上、2.1 °C 未満の度数を 2.05 °C の位置にプロットしている。また、図-5 の各図の右上に圧力の範囲を示す。

図-5 では、1,500 decibar 以下には 2 つのピークがあり、それぞれ黒潮と親潮の平均的な温度を示している

思われる。例えば 1,000–1,100 decibar は、2.8 °C 付近と 3.7 °C 付近に度数のピークがあり、圧力が高くなるとともにピークの温度差は小さくなっている。さらに、1,500 decibar 以上では、度数のピークは 1 つになっていて、黒潮と親潮の影響は小さくなっていると思われる。

### 3. 考察・結語

CO<sub>2</sub> ハイドレート貯留を支配する海底下地層の温度・圧力のうち、海底面温度を支配する海水温に関し、北西太平洋における海域、緯度（北緯）、水深（圧力）が、どの程度、影響しているのか検討するため、海域ごとの海水温-圧力関係、及び海水温-緯度関係、海水温-度数の関係を示した。

結果、利用したデータの範囲において、圧力（水深）が高くなると、海域、緯度が海水温に与える影響は小さくなっている。例えば、水深が千数百 decibar 以下では、海域（海流）や緯度の影響と思われる海水温の変化が大きいが、千数百 decibar 以上では、海域や緯度に係らず、海水温は一定である。

以上より、北西太平洋では、水深千数百 m 以深の海水温の変化は小さく、この海域の海底面温度も同様に一定と考えられる。また、海底下地層の 30 °C/km ほどの地温勾配を想定すると、CO<sub>2</sub> ハイドレート貯留に適している、例えば 10 °C 以下で 4.5MPa 以上の海底下地層が存在する。

#### 参考文献

- 1) 環境省. 報道発表資料「地球温暖化対策計画」の閣議決定について、2016.05.13.
- 2) 環境省. 中長期の気候変動対策検討小委員会（産業構造審議会産業技術環境分科会地球環境小委員会地球温暖化対

- 策検討 WG 合同会合）（第 8 回）議事次第・配付資料、2021.07.26.
- 3) 地球環境産業技術研究機構（RITE）. CO<sub>2</sub> 地中貯留プロジェクト、全国貯留層賦存量調査、平成 12～平成 22（2000 年～2011 年）.
- 4) 財団法人 地球環境産業技術研究機構. 平成 15 年度二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業プログラム方式二酸化炭素固定化・有効利用技術開発（深地下・海底環境利用による CO<sub>2</sub> 地殻化学固定・ハイドレート固定のため基盤技術の開発）成果報告書、2004.03.
- 5) 日本 CCS 調査. ホームページ、貯留適地調査事業について（経済産業省及び環境省からの委託事業）（2017.8. 閲覧）.
- 6) Yojiro IKEGAWA and Takaomi TOBASE. Estimation of potential ocean region and potential amount of CO<sub>2</sub> storage based on CO<sub>2</sub> hydrate around Japan, pp.276-283, Vol.9, No.1, J. of JSCE, 2021.
- 7) Sloan, E. D. Jr. *Clathrate hydrates of Natural Gases*, Second Edition, Marcel Dekker Inc., 1998.
- 8) Sakai H, Gamo T, Kim ES, Tsutsumi M, Tanaka T, Ishibashi J, Wakita H, Yamano M, Oomori T. Reports : Venting of Carbon Dioxide-Rich Fluid and Hydrate Formation in Mid-Okinawa Trough Backarc Basin, Science, Vol. 248, pp1093-1096, 1 June, 1990.
- 9) Inagaki, F., M.M. Kuypers, U. Tsunogaim, J. Ishibashi, K. Nakamura, T. Treude, S. Ohkubo, M. Nakaseama, K. Gena, H. Chiba, H. Hirayama, T. Nunoura, K. Takai, B.B. Jørgensen, K. Horikoshi, and A. Boetius. Microbial community in a sediment-hosted CO<sub>2</sub> lake of the southern Okinawa Trough hydrothermal system. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., 103, 14164-14169, doi:10.1073/pnas.0606083103., 2006.
- 10) 日本地質学会. 地質系統・年代の日本語記述ガイドライン 2021 年 5 月改訂版, 2021 年 6 月 16 日更新.
- 11) 池川 洋二郎, 庄路 友紀子, 鳥羽瀬 孝臣. 太平洋と日本海の海底下地層の温度・圧力を想定した CO<sub>2</sub> 地中貯留における CO<sub>2</sub> 上昇圧, 第 15 回岩の力学国内シンポジウム, 2021.01.
- 12) 気象庁. アルゴ計画リアルタイムデータベース, 2017 年-2021 年閲覧.
- 13) 気象庁. 親潮前線と黒潮前線、混合域、（2018 年 3 月閲覧）.

## SEAWATER TEMPERATURE OF PASIFIC OCEAN AROUND JAPAN —TEMPERATURE CONDITIONS CONCERING CO<sub>2</sub> HYDRATE STORAGE—

Yojiro IKEGAWA

As the second option of CO<sub>2</sub> ground storage in terms of carbon dioxide capture and storage (CCS), we are considering CO<sub>2</sub> hydrate storage. CO<sub>2</sub> hydrate storage is controlled by temperature and pressure. Pressure is hydraulic static pressure. Concerning temperature, seafloor temperature should be constant. From the results of seawater temperature-pressure relationship using Argo data of the Pacific ocean around Japan, changes in seawater temperatures below thousand and several hundred meters are small and constant. It is then expected that there would be an sedimentary layers below seafloor suitable for CO<sub>2</sub> hydrate storage.