

海から大気への CO₂ 逆流を加速する CCS とアンモニア燃料；無限温暖化ループ

会員 ○ 鈴木高広 (近畿大学)

CCS and Ammonia Fuel Accelerating CO₂ Backflow from
Ocean to Atmosphere; Infinite Warming Loop

Takahiro SUZUKI

Kindai University
930 Nishimitani, Kinokawa, Wakayama, 649-6493, Japan
E-mail: tk Suzuki@waka.kindai.ac.jp

ABSTRACT

CCS and ammonia fuels are attracting attention as new ways to reduce CO₂ emissions. However, even if CO₂ is stored underground by CCS, it is likely to leak into the deep ocean and accelerate the acidification of seawater. When CO₂ is stored underground on continents, it is also predicted to evaporate from the ocean to compensate for the atmospheric depressurization. Ammonia fuel is also considered to accelerate the acidification of seawater by emitting a large amount of NO_x, which is the causative agent of acid rain. As a result, CO₂ is expected to flow back from the ocean to the atmosphere, accelerating further warming.

キーワード：海水酸性化, CaCO₃ 溶解, 海洋 CO₂ 排出

Keywords : Seawater acidification, CaCO₃ dissolution, Ocean CO₂ emissions

1. はじめに

大気に比べると海水は温まりにくく、温まると冷めにくい。2012 年以降、気温を上回るペースで海水温が上昇し、CO₂ 濃度の上昇速度が海水よりも大気の方が加速している (Fig. 1)。2012 年は、再生可能エネルギー特別措置法が施行されソーラー発電が急速に拡大し始めた年である。世界では 2009 年頃からメガソーラーが急増し、太陽電池の輸出で巨額の富を得た中国は産業・経済が拡大し、化石燃料消費量が大幅に増大した。

海水温が上昇すると CO₂ 吸収力が低下する。2012 年以降、大気と海水表層の CO₂ 濃度の上昇速度の差が徐々に拡大しており、海水の CO₂ 吸収力が低下していることが示唆される。海に異変が起きているのである。

火星や金星と同様に地球が誕生したとき、大気は数十気圧もあり、その主成分は CO₂ だったと考えられている。地球は海が存在できたため、膨大な CO₂ を海が吸収し、鉱物や貝殻となって貯蔵されている。その海

に貯蔵された CO₂ が大気に逆流する新たな脅威の兆候が現れ始めている。

この危機的状況に気づかないまま、石油や石炭よりも CO₂ 排出量を大幅に増加する木質バイオマス発電や藻油開発を推進してきただけでなく、さらなる重大な欠陥が潜む新技術の開発が推し進められている。海から膨大な CO₂ 排出を誘発する可能性が高い新たな再エネ技術とは、CCS とアンモニア燃料である。CCS とアンモニア燃料に潜む重大なリスクについて調査および解析した。

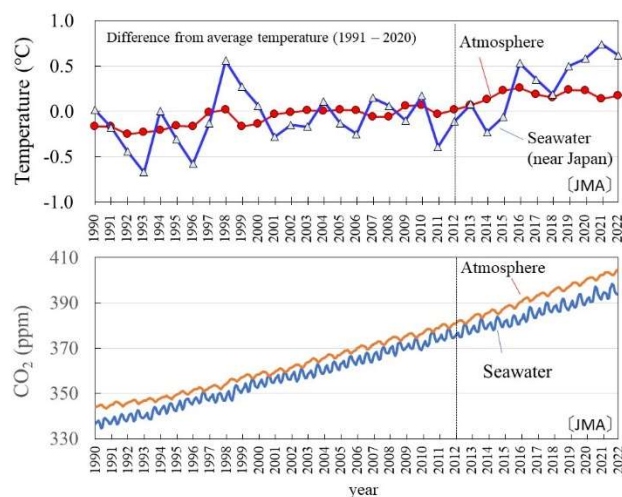


Fig. 1 Changes in mean temperature and CO₂ concentration in the atmosphere and surface layer of seawater.

2. CO₂ 濃度の長期変動と CCS

CO₂ の回収・有効利用・貯留 (Carbon dioxide Capture, Utilization or Storage) の略語を CCUS と称し、火力発電所や工場などからの排気ガスに含まれる CO₂ を分離・回収し、資源として作物生産や化学製品の製造に有効利用する。太陽光発電や風力発電などの余剰電力で水を電気分解し製造した水素 H₂ で CO₂ を還元し、メタン CH₄ やアルコールなどに変換し、燃料や合成原料として利用するための研究が進められている。回収した CO₂ を、地下の安定した地層の中に貯留する技術が CCS である。

18 世紀半ばから始まった産業変革と石炭利用による

エネルギー革命以降、CO₂排出量が指数関数的に増加し、地球温暖化のペースが年々上昇している。大気中のCO₂濃度を下げれば地球を冷却できることは、地球の平均気温とCO₂濃度の長期的な変動データも示す。

過去 72 万年間の南極周辺の海水温と気温と大気中のCO₂濃度、日射量の推移に関する植村らの報告¹⁾によると、凡そ 12 万年周期で気温とCO₂濃度が上昇と下降を繰り返してきたことが分かる。気温とCO₂濃度は数万年かけて低下したのち、上昇に転じると短期間で 280 ppm 前後のピークに達し、そして、再び下降期に転じるパターンを産業革命が始まる前まで繰り返していた。

このように氷河期と温暖期が交互に繰り返される理由として、マントル対流による地殻変動や海流の影響、そもそも地球の平均気温は周期的に変動しており、現代は間氷期で、やがて氷河期になるから温暖化は収束するなど諸説あるが、どれも不正解である。周期的な変動パターンは、明らかに植物光合成によるCO₂の吸収速度と、土壌微生物が植物バイオマスを分解して発生するCO₂排出速度の差が原因である (Fig. 2)。

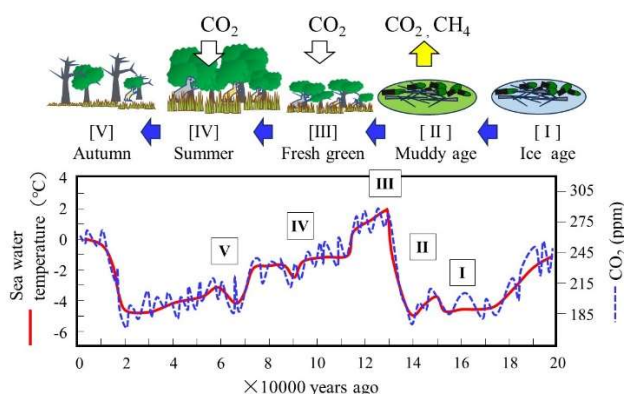


Fig. 2 Changes in sea temperature and CO₂ concentration over the past 200,000 years and mechanisms by which plants and soil microorganisms increased or decreased atmospheric CO₂ concentration.

つまり、氷河期が繰り返し訪れたのは、植物がCO₂濃度を低下させたからである。一方、温暖化に誘導した土壌微生物は、約2万年かけて大気CO₂濃度を175ppmから275ppmに高めた。これに対し、このところの人類はCO₂濃度を2.5ppm/年のペースで上昇させており、土壌微生物反応の500倍の高速ペースである。

つまり、温暖化を止めるためには、植物の光合成能力を飛躍的に高めてバイオ燃料 (バイオメタン・水素) を大量生産し化石燃料を代替すればよいことが分かる。その最適な資源植物はサツマイモであり、木質バイオマス発電と比べ200倍のCO₂削減効果が見込めることをこれまでに報告した^{2,3)}。一方、CCSはCO₂を回収し地下に埋め、大気CO₂濃度を低減することを目論む。ところが、

逆にCO₂濃度上昇を加速することになりかねない重大なリスクが潜んでいる。CCSが、海から大気へのCO₂逆流を加速しかねないのである。

3. 海水酸性化の現状と影響

海水表層のpHが年々低下している (Fig. 3)。東経 137° 北緯 30°の海水はpH 8.07、北緯 3°はpH 8.03と、低緯度海域の方が低い。だが、高緯度海域は水温が低いためCO₂の溶解度が高く、pHの低下速度が高いことが分かる。

Fig. 4は、pHに対するCO₂分子とイオンの存在率を示す。海水に吸収されたCO₂はpHに依存して水素イオンH⁺を解離した炭酸水素イオンHCO₃⁻や炭酸イオンCO₃²⁻になる。HCO₃⁻の存在率はpH 7.4付近がピークで、それよりも低いpHでは分子状CO₂の割合が増える。海水温が高いとCO₂の溶解度が低下するため、酸性化した海水中でCO₂分子が会合し気泡になると、海水中にとどまることができなくなり大気に沸き出すのである。

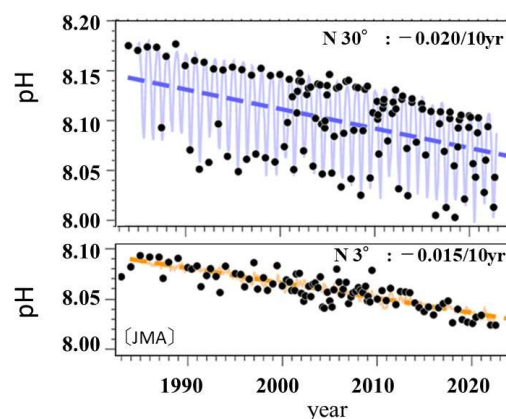


Fig. 3 Surface pH of seawater at N 30° and N 3° in E 135°.

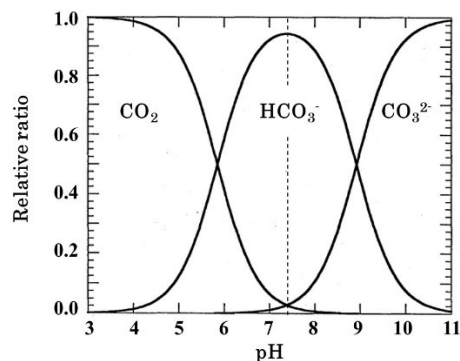


Fig. 4 Relative ratio of CO₂ and ions at seawater pH.

深海は、すでにこの深刻な状況が起きている。バイオマスが豊富な海域は水深 1000 m 付近まで溶存酸素濃度 (DO) が低下し、CO₂濃度が増加するため、上層よりもpHが低下する。表層がpH 8.1の海域でも、水深 1000 m はpHが7.4付近まで低下している (Fig. 5)。

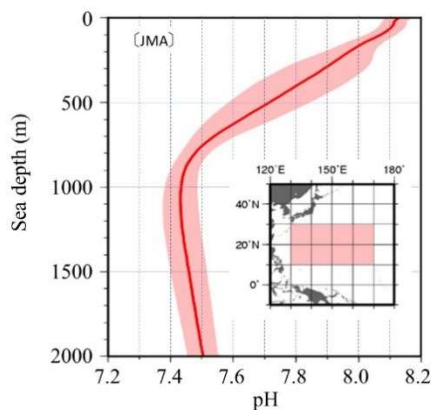


Fig. 5 Changes in pH with respect to sea depth.

北極海域では酸性化した深海水が湧昇流となって表層に達し、植物プランクトンの CaCO_3 外殻が溶解する現象が既に始まっている⁴⁾。すなわち、海から CO_2 が沸きだす事態が起き始めていると考察される。

CCS は、バイオマス分解により酸性化した水深 1000 m の海域に、さらに高圧 CO_2 を大量に供給し、酸性化を一段と加速しようとしているのである。

4. CCS が海から CO_2 蒸散を加速するメカニズム

CO_2 は、水深 500 m の深海 (5 MP, 14°C) で液化するため、さらに海底を掘り進み約 1000 m の深さの地下に液化 CO_2 を貯留する方法が一般的である。だが、これまでの地震メカニズムの研究成果は、日本列島の地盤は水で満たされているため、積雪荷重の増減による地殻ポンピング運動が、三陸沖を先頭に列島各地を東進させていることを示す (Fig. 6)。地下が水で満たされているため、列島各地も引きずられて動くのである (Fig. 7)⁵⁾。

つまり、日本列島のどこを掘っても深海と隔離された地層を見つけることが不可能であることを示す。仮に、隔離できる地層があれば、福島原子力発電所事故による放射能汚染土や、希釈して海に放出する原発処理水も、地下の隔離地層に貯留すれば問題ないはずである。そのような議論さえ行われないのは、日本の地下に埋めると放射性物質が海に漏れることを誰も否定できないからである。CCS で地下に注入した CO_2 はやがて深海に漏出し酸性化を加速し、方解石や貝殻やサンゴや植物プランクトンの CaCO_3 の溶解を加速する。その結果、地上で回収し地下に送り込んだ CO_2 の量を上回る CO_2 が海から大気に逆流する無限温暖化ループが誘発されると予測される (Fig. 8)。

一方、大陸の地下に埋めれば深海に漏れ出ないため、海の酸性化も起こらないと考えるのは早計である。大気の CO_2 の減圧分を補うために、海から CO_2 が蒸散すると考察される。

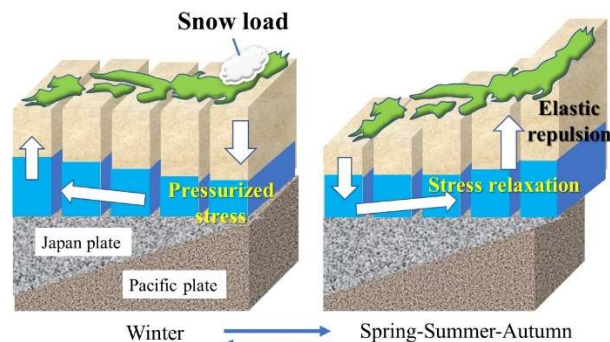


Fig. 6 A seesaw phenomenon (waterbed theory) that causes the eastward movement of the Japanese plate by tectonic pumping.

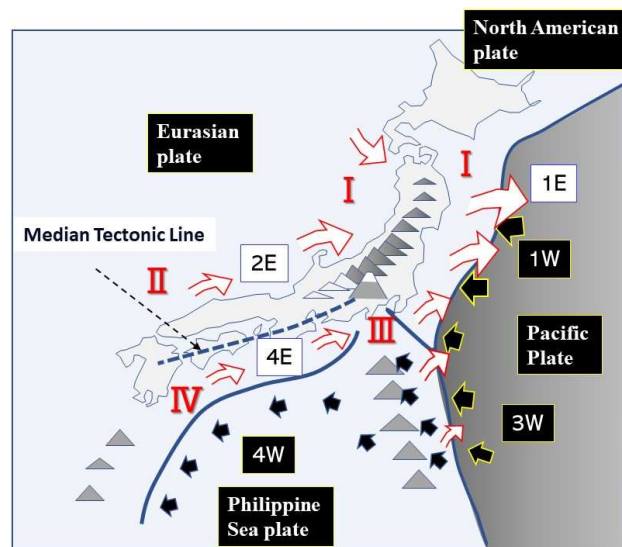


Fig. 7 Tectonic movements in various parts of the Japanese archipelago moving eastward, starting off the Sanriku coast.

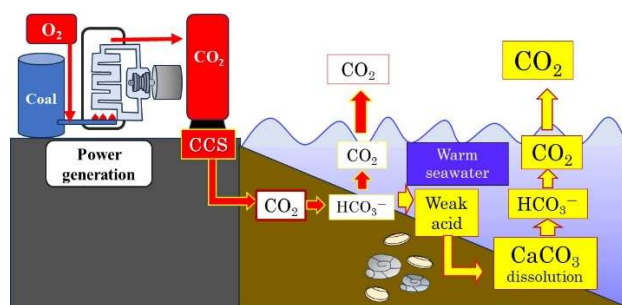


Fig. 8 CCS-induced infinite warming loop; CO_2 stored into the ocean floor leaks out, acidifying the ocean and dissolving CaCO_3 from shells, corals and phytoplankton, causing more CO_2 than input to flow back into the atmosphere from the sea surface.

CCS は、大気の酸素 O_2 が化石燃料の炭素 C と結合した CO_2 を回収し地下に埋めるため、大気 O_2 濃度が減少する。地球上で O_2 の再生を担っているのは、生物の光合成反応だけであり、地球には O_2 を補填する余力がない。

Fig. 9 は亜寒帯から熱帯の海域の深度に対する DO の変化を示す。表層海水の DO は飽和濃度 (6 ppm~10 ppm) 近くあるが、海洋生物が DO を消費するため海中の濃度

は低下している。したがって、海には大気へ O₂ を供給する余力がないことが分かる。一方、飽和 DO の 50 倍の高濃度 (400 ppm) の CO₂ は、海水の酸性化と温水化により蒸散しやすくなっている。したがって、大陸の地下に CO₂ を埋めても海から CO₂ が蒸散するため、大気 CO₂ 濃度はまったく低下しないだけでなく、巨大な CCS 設備を建設し、大量の CO₂ を回収し埋めるための運転操作にもエネルギーが投入されるため、CCS を導入しない場合よりも CO₂ 排出量を増やすことになる予測される。

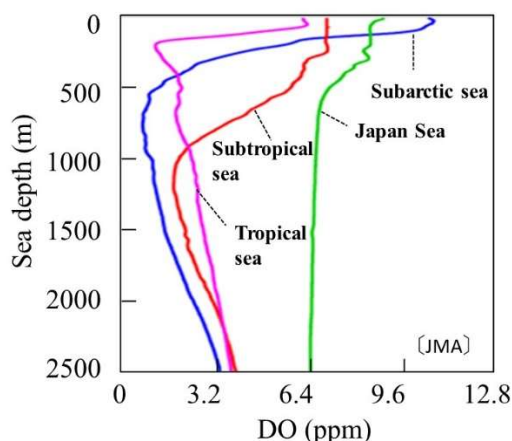


Fig. 9 Sea depth and DO

5. CCS が酸欠による人類絶滅リスクを高める

さらに、CCS は人類存続を脅かす重大問題を引き起こすリスクを抱えている。これまで、大気 O₂ 濃度が労働安全衛生法で規定する酸欠濃度 18% に低下するまでの猶予期間を残し 1000 年と予測し警鐘を鳴らした⁶⁾。だが、CCS が普及すれば O₂ 濃度の低下が加速し、酸欠までの猶予期間は数百年へと短縮されると推定される (Fig.10)。

O₂ 濃度が低下した地球で自然発火による山火事が発生すると、不完全燃焼により一酸化炭素 CO が大量発生する。CO は O₂ よりも 250 倍も強くヘモグロビンと結合し O₂ 呼吸を妨げる。酸欠で人類が全滅するのである。

6. CCUS とバイオメタネーションの比較

CCUS は、H₂ 調達と全工程の CO₂ 収支とコストが課題となるため実用化は困難である。対照的に、サツマイモ・メタン量産法が、格安バイオメタネーション技術、国産バイオ水素供給、O₂ 再生技術として有効である⁵⁾。

7. アンモニア燃料は温暖化を無限に加速する

燃焼時に CO₂ を出さないアンモニア燃料 (NH₃) は、不完全燃焼すると GWP が 298 の N₂O を生成するため、燃焼効率を高め NO_x を排出する。NO_x は海水酸性化を加速し、海から膨大な量の CO₂ が沸き出す事態を招く。

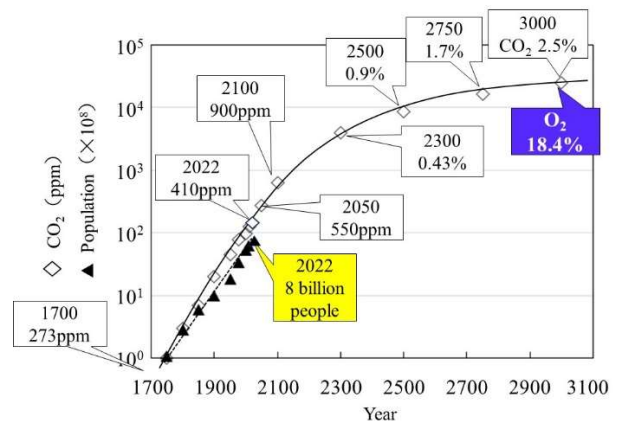


Fig.10 Trends and long-term projections of global population growth and atmospheric CO₂ concentration growth compared to 1700 AD.

石炭火力発電は排気中の NO_x を N₂ に無害化するため NH₃ を用いるが、NH₃ の製造工程でも CO₂ を大量に排出するため、温暖化が加速する。そこで、中和剤として CaO や NaOH が検討されている。ところが、貝殻などを燃焼し CaO を製造する工程でも CO₂ を大量に排出する。NaCl を電解してつくる NaOH も、強酸の HCl が生成する。NO_x 中和剤も海水酸性化を加速するのである。

NH₃ 製法は、ハーバー・ボッシュ法が常用され、400~600°C、100~200 気圧で N₂ と H₂ を反応させ生成する。したがって、製造工程でも大量の CO₂ を排出し、さらに温暖化を加速する。

常温常圧で反応を行う窒素固定細菌のニトロゲナーゼを模倣したモリブデン触媒法が考案され、省エネ製法と称されるが、還元剤としてヨウ化サマリウムを大量に使用し、酸化されたヨウ化サマリウムを還元する方法の用途がないのが現状である。

イモメタンから量産できる H₂ をそのまま燃料利用すれば、NH₃ 燃料による無限温暖化を防ぐことができる。

8. おわりに

既に、海水酸性化による海から大気へ CO₂ 逆流の兆候が現れている。CCS もアンモニア燃料も海水酸性化を加速し、無限温暖化ループを誘発すると予測される。

9. 参考文献

- 1) R. Uemura, *et al.*, Nature Comm., 9, 961, 2018
- 2) T. Suzuki, *et al.*, Horticulturae, 9 (3), 309, 2023
- 3) T. Suzuki, *et al.*, Plants, 12 (2), 287, 2023
- 4) NHK スペシャル；海の異変 し のびよる酸性化の脅威, 2022年7月17日公開
- 5) 鈴木高広, 太陽エネルギー, 49 (5), 78-88, 2023
- 6) 鈴木高広, イモが日本を救う, WAVE 出版, 2014