2022年5月12日

科学技術・学術審議会 海洋開発分科会 第2回海洋科学掘削委員会 ご 説 明 資 料

"我が国における海洋科学掘削の取組について~技術的視点~

石油資源開発株式会社

石井美孝

「深海地球ドリリング調査事前評価報告書」 平成10年(1998年)12月 「ちきゅう」建造前 「深海地球ドリリング評価中間報告書」 「深海地球ドリリング評価第二次中間報告書」

「深海地球ドリリング調査事前評価報告書」

- ① これまでの深海掘削の限界⇒JOIDES Resolution(JR)によるライザーレス掘削の限界
 - 炭化水素の存在(炭化水素の噴出をコントロールできない⇒海洋汚染)
 - 掘削孔の崩壊(崩壊をコントロールできない⇒掘削の中止、コア回収不可)
- ② 新たな深海掘削の提案⇒ライザー掘削による深海掘削。地球深部探査船の建造、運用
 - ライザー長2,500m(最終目標4,000m)、掘削深度(海底面下)7,000m
 - Dynamic positioning System (DPS) による定点保持
 - 大面積の研究室を船上に併設(JR及び石油・天然ガス掘削船との違い



水深2,500m級掘削において科学的成果を得つつ運用技術を取得し、その運 用データを得て水深4,000m級での運用を目指すステップ・バイ・ステップでの 取組み方は妥当

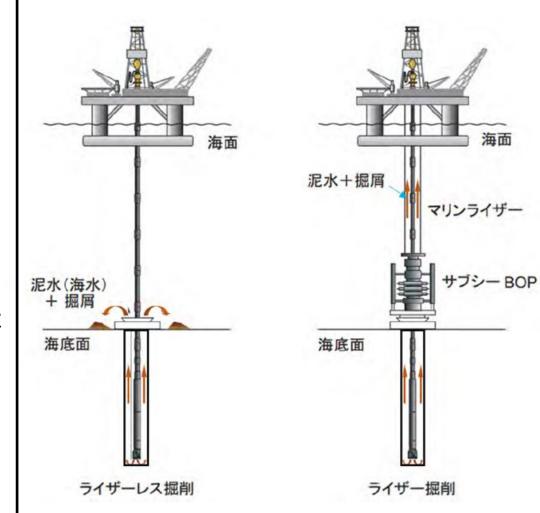
ライザー掘削とは 大水深ライザー掘削の技術的課題

ライザー掘削

- ▶ 孔井(坑井)内に泥水を循環することによって、安全(暴噴、崩壊等トラブルの防止)に掘削をするために、海底面と掘削リグの間をマリンライザーで接続し、海水中に孔井(坑井)が続いているかのような仕組みを構成した掘削方法(陸上と同じ環境)
- ▶ 産業界では1990年代まで水深300m程度までの開発がほとんど。 よって、当時は水深300m以深を大水深と呼称、大水深開発は以下 のような技術的課題があり、1990年代後半より開発が進む

・ 大水深ライザー掘削の技術的課題

- 定点保持システム、ライザーマネージメントシステムの高度化⇒海中下のライザー挙動の管理、Dynamic positioning System(DPS)
- ▶ 掘削船の大型化⇒ライザーパイプ搭載、ライザーパイプ等へ外力大による周辺機器の高能力(大型化)パイプ類の吊能力大型化
- ▶ 地層孔隙圧と破壊圧の差が小さい⇒ライザー内は泥水のため泥水 柱圧大
- ▶ 地層温度と海中温度の差⇒低温度下の泥水管理(流動特性の変化)、ハイドレートの生成
- ▶ 海底面浅部の環境(ハザード)⇒シャローガス、メタンハイドレートの存在、海底面は孔井(坑井)全体の基礎(重量物を設置)



報告書の振返り

「深海地球ドリリング調査事前評価報告書」 平成10年(1998年)12月 「ちきゅう」建造前「深海地球ドリリング評価中間報告書」 平成18年(2006年)2月 「ちきゅう」建造、試験航海後「深海地球ドリリング評価第二次中間報告書」 平成25年(2013年)10月 南海掘削(EXP338)前

「深海地球ドリリング評価中間報告書」(抜粋)

- ①「ちきゅう」は科学掘削船として初めてとなるライザー掘削方式、DPS等の採用により、航空・電子等技術審議会で適当と評価された性能を満足する船となった。
- ② 研究者・運航者の意見を聴取し、連続コアリング、コア研究のための最新機器の搭載、配置に関して必要な措置が講じられた。
- ③ 科学者のニーズに応え、モホ面を貫くため、機器の開発及び運用技術の検討を行ってゆくことで、水深4,000m級での大水深掘削を世界に先駆けての実現に向け取組むべき。

「深海地球ドリリング評価第二次中間報告書」(抜粋)

- ① 様々な技術改良により、日本近海の強い海流、厳しい海象気象条件下でも掘削可能な能力 を備えるプラットフォームとなった。
- ② 大深部の海底下からメタンハイドレートや微生物をそのまま採取可能な高品質のコアサンプラーが開発され、調査研究の基盤が飛躍的に整備された。
- ③ <u>将来、モホ面を掘削することを目指して、目標とする水深4,000mライザーシステムや高温に耐えるビット、測定機器の開発に取組む必要がある。</u>

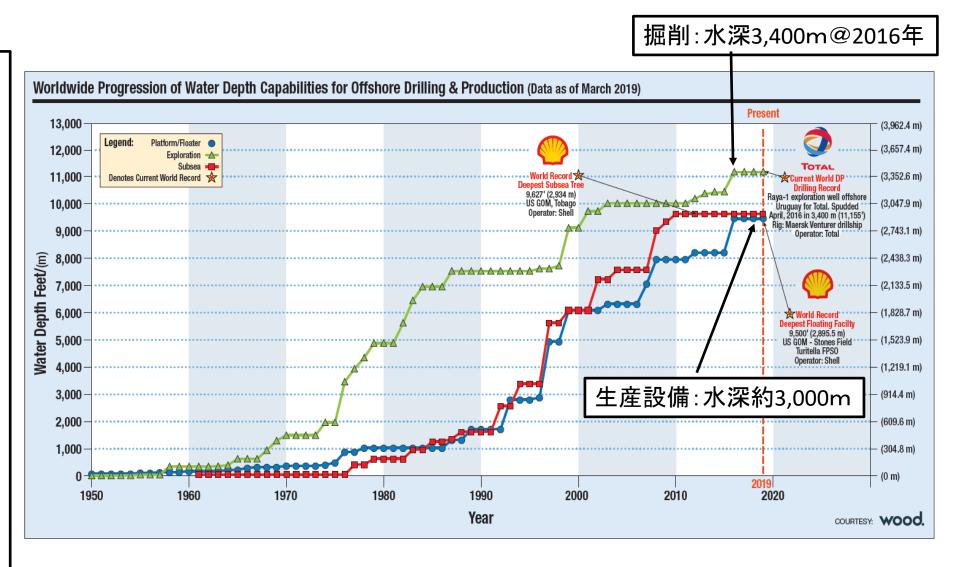
「ちきゅう」建造時の産業界の動き(2000年代)

「ちきゅう」は平成13年(2001年)に建造開始、平成17年(2005年)に完成

- 優良資源へのアクセスが困難 (優良資源:資源量が豊富、開発が容易、地理的優良)
 - > 資源国の国営石油会社の技術力向上、政治的な理由
- 開発しやすいフィールドの減少(ほとんど手が付けられている)
- 石油・天然ガス開発企業の投資戦略の見直し
 - ▶ 非在来型資源(シェールガス・オイル)開発/LNG開発/大水深開発
- 大水深開発(巨額の初期投資が必要なるも)
 - > 巨大な埋蔵量が期待できる
 - ▶ 高度な技術力と効率化(コストミニマイズ)が期待できる
 - ▶ 高油価環境と高油価将来想定(リーマンショック@2008年前)
- ・ 産業界では「より水深の深い海域でのチャレンジ」の意見も多く、大水深技術の向上の期待された。
- ・ 国内においては、国内初の大水深掘削船である「ちきゅう」の誕生は、国内石油・天然ガス開発会 社にとって、今後の日本近海/アジア海域での開発の可能性を高めた。
 - ▶ 当時大水深掘削リグはメキシコ湾、西アフリカ、ブラジルで稼働、掘削期間調整も困難かつ高い動復員費用が必要
- ・ 大水深掘削技術取得のための人材開発の場。
 - > JAPEXは多くの人材をJAMSTECに出向させ技術の取得・継承を実施

海洋資源開発に係る開発水深の進歩

- 大水深掘削は、 1975年より1980年 後半まで大きく進歩 (掘削技術)
- 大水深開発は掘削が確実に実施できることを見ながら、1990年前半より大きく進歩(生産設備技術)
- 2010年以降、大水 深開発は停滞
- ⇒大水深技術の停滞

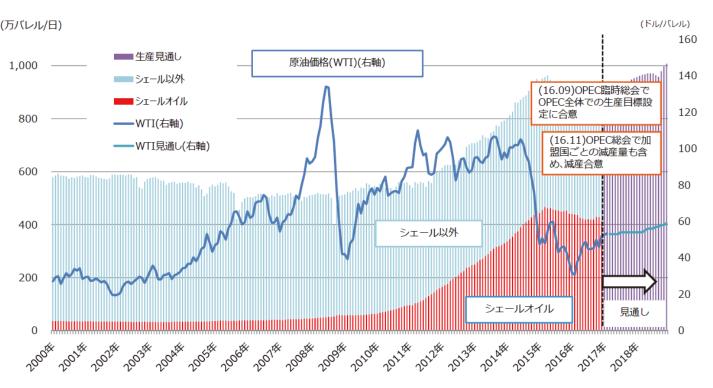


出典: 2019 Deepwater Solutions & Records for Concept Selection, Offshore Magazine, May 2019

大水深開発の停滞(大水深技術の停滞)

- 2008年のリーマンショックによる油価の下落
- 2010年のメキシコ湾のDeepwater Horizon の事故により安全基準の強化と機器補強 によるコスト増、保険料の上昇
- 2010年以降のシェールオイル革命による 石油の増産
- 2014年のOPEC減産拒否による油価の下落と低迷
- 2015年COP21パリ協定により脱炭素化
 - ▶ 2019年以降世界銀行グループをはじめと する公的機関の化石燃料開発への投融資 の制限及び停止
 - ▶ 欧州投資家を中心に、座礁資産化を回避 すべく、化石燃料関連事業を除外銘柄と位 置付け、投融資を中止・撤退
- 2020年から新型コロナウィルスまん延

⇒大水深開発のみならず、石油・天然ガス開 発の停滞



出典: Baker Hughes、EIAを基に資源エネルギー庁作成

出典:2017年エネルギ白書 原油価格と米国原油生産量の推移・見通し

深海地球ドリリング計画で技術面で求められたこと

- 1. 大水深•大深度掘削技術
 - ① 4,000m級ライザーシステムの開発
 - ② モホ面まで到達するための最大掘削能力のアップ(10,000m以上)
 - ③ 高温度環境下での泥水や計測機器の開発
 - ④ コア採取技術の向上
- 2. 過酷な海象・気象環境下での定点保持技術及びライザーハンドリング技術
 - ① 強海流下・荒天下での定点保持
 - ② 強海流下・荒天下でのライザー接続
 - ③ 海流・海象条件基準超過前の、ライザー緊急離脱、ライザー保持・退避
- 3. 労働安全管理と環境保全
 - ① HSE(労働安全衛生環境)のマネージメントシステムによる管理
 - ② 海洋汚染等の防止

大水深•大深度掘削技術

- ① 4,000m級ライザーシステムの開発
- ② モホ面まで到達するための最大掘削 能力のアップ(10,000m以上)
- ③ 高温度環境下での泥水や計測機器 の開発
- ④ コア採取技術の向上

①大水深			②大	水深	③高温	④コアリング システム
軽量ライザー (CFRP)	軽量ライザー (チタン合金/ アルミ合金)	小径ライ ザー	12,000m ドリルパイプ	8,000m超級 ドリルパイプ	高温用泥水	タービン方式 (硬岩用コアリ ングシステム)
TRL8	TRL8	TRL8	TRL8	TRL8	TRL8	TRL8
TRL7	TRL7	TRL7	TRL7	TRL7	TRL7	TRL7
TRL6	TRL6	TRL6	TRL6	TRL6	TRL6	TRL6
TRL5	TRL5	TRL5	TRL5	TRL5	TRL5	TRL5
TRL4	TRL4	TRL4	TRL4	TRL4	TRL4	TRL4
TRL3	TRL3	TRL3	TRL3	TRL3	TRL3	TRL3
TRL2	TRL2	TRL2	TRL2	TRL2	TRL2	TRL2
TRL1	TRL1	TRL1	TRL1	TRL1	TRL1	TRL1

資料提供:JAMSTEC

達成

未達成

- JAMSTECでは技術開発に関して、技術成熟度レベル(Technology readiness levels ,TRL) の 手法を用いて実施
- これら技術開発の進捗状況に関しては、次回以降JAMSTECから説明されるものと考える。

①大水深			②大水深		③高温	④コアリングシステム
軽量ライザー (CFRP)	軽量ライザー (チタン合金/ アルミ合金)	小径ライザー	12,000m ドリルパイプ	8,000m超級 ドリルパイプ	高温用泥水	タービン方式 (硬岩用コアリングシステ ム)
TRL8	TRL8	TRL8	TRL8	TRL8	TRL8	TRL8
TRL7	TRL7	TRL7	TRL7	TRL7	TRL7	TRL7
TRL6	TRL6	TRL6	TRL6	TRL6	TRL6	TRL6
TRL5	TRL5	TRL5	TRL5	TRL5	TRL5	TRL5
TRL4	TRL4	TRL4	TRL4	TRL4	TRL4	TRL4
TRL3	TRL3	TRL3	TRL3	TRL3	TRL3	TRL3
TRL2	TRL2	TRL2	TRL2	TRL2	TRL2	TRL2
TRL1	TRL1	TRL1	TRL1	TRL1	TRL1	TRL1
CFRPの有効性を確認したが、メーカー撤退により開発断念	材料費が高く断念	装置の問題とケーシング 挿入枚数の制限あり	12,000m級の高強度のドリルパイプを確認できたことより、コアリングシステム対応の検討が必要機械的損傷防止に開発したスリップのAPI検査合格待ち段階	業を実施済	ザーレスであるが、 300℃での沖縄トラフで	「ちきゅう」での実証試

達成

未達成

提供資料に石井追記

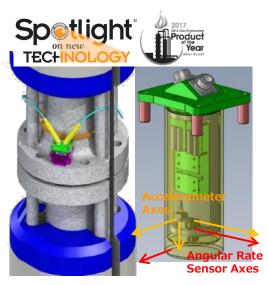
総合的な評価

- 4,000mライザー開発はライザーパイプを軽量化すべく検討、産業界の大水深開発が停滞している背景もあり協力企業が炭素繊維事業 から撤退したことから、ライザー本体の軽量化は現時点では困難。新たな考えによるアプローチが必要な段階。
- 12.000級のドリルパイプは高強度パイプが確認されたことより、コアリングシステム対応の検討と開発したスリップの検査が必要だが、 大きな問題ではない
- 高温度対策は泥水は実績あり、機器に関しては泥水循環による冷却等の運用で対応可能。 コアリングシステムは実証試験前の段階例

過酷な海象・気象環境下での定点保持技術及びライ ザーハンドリング技術

- ① 強海流下・荒天下での定点保持
- ② 強海流下・荒天下でのライザー接続
- ③ 海流・海象条件基準超過前の、ライザー緊急離脱、ライザー保持・退避

ライザーモニタリングシステム



OTC2017 Spotlight on New Technology Award

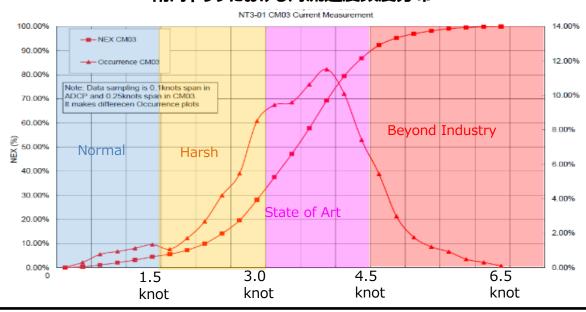
強海流下でのライザー管 挙動をモニタリングし疲労 を解析す ライザーフェアリング



渦励振によるライザー 管の疲労を低減

資料提供: JAMSTEC

南海トラフにおける海流速度頻度分布

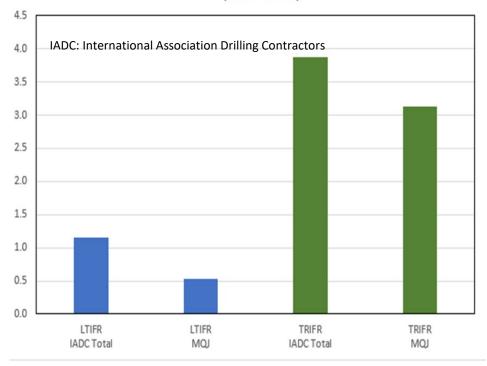


- 産業界では、このような環境下での操業はあまりなく、 取組んでいない技術(通常は最大2knot程度)
- 南海掘削の実績は、過酷な海象・気象環境下での定点 保持技術及びライザーハンドリング技術において、大き な成果を得たと評価できる。
- 産業界へのシナジー
 - ライザーモニタリングシステムはオイルメジャーの東カナダと ギヤナ沖プロジェクトで使用実績
 - ➤ OTC(Offshore Technology conference)で新技術の賞を受ける7

ライザーレス掘削の技術開発

- ライザーレス掘削の技術開発により、ライザーレスによる掘削の効率を 向上させたものと判断(いくつかの機器は特許申請)
 - ▶In-situ下での圧力保持コアリングシステムの改良 Hybrid PCS(ライザー掘削でも可能)
 - ▶強潮流下でのドリルパイプに及ぼす疲労蓄積、曲げストレス、熱による劣化防止機器の開発 海底掘削サポートシステム
 - ➤ ROVの稼働水深を超える深海のUWTVの開発とそれをサポートする機器の開発
 - ▶水深7000m下でコンダクターパイプ(基礎となるパイプ)を設置後に連続して掘削できる機器の開発(作業時間の効率化)。

LTIFR(休業災害率) / TRIFR (統計対象災害率) 100万人時間当たり (2009-2021)



年間で休業災害は4件、平均の災害率は IADCと比べ低い

安全管理と環境保全

- HSE(労働安全衛生環境)のマネージメントシステムによる管理
- 海洋汚染等の防止
- 「ちきゅう」の運航開始に合わせ、「科学掘削への統合マネジメントシス テムの導入」の委託調査に基づきHSE-MSの構築を進め、2003年に完成。
 - ➤ HSEグループによるHSE-MSの啓蒙・教育や、各掘削プロジェクト毎の緊 急時対応を含むHSE管理計画の策定
- 2019年、「ちきゅう」を運用するCDEXと、他の研究船・無人機を運用する 海洋工学センターが統合し、研究プラットフォーム運用開発部門 (MarE3)となったことを受け、全船舶ならびに無人機の運用・開発業務 全体をスコープに入れた「安全・品質・事故防止マニュアル」としてMSを 大改訂。品質管理も含めてHSQE管理を、他の船舶運用等にも拡大
- 「ちきゅう」のHSQE統合マネジメントシステムは、最上位のマニュアルの 下に、Procedure, Work Instructionの3層からなる文書構成。本社業務、 現地事務所の業務に関する文書も徐々に整備
 - ▶ ISO9001(品質)、ISO14001(環境)の認証取得。
 - ▶ OHSAS18001(労働安全衛生)の認証を取得したが、ISO45001の移行 機に認証廃止。自主MSで労働安全衛生管理可能と判断
 - ➤ IMOによるShip Cyber Securityに関する要請を受け、最近はサイバーセ キュリティ・マネジメントもHSQE-MSに追加

まとめ

① 大水深 · 大深度掘削技術

- ▶4,000mライザーはライザー本体の軽量化は現時点では困難。新たな考えのアプローチが必要
- ▶12,000m級ドリルパイプは高強度パイプが確認されたことより、コアリングシステム対応の検討と接続時の機械的損傷を開発したスリップで解消可能となり、達成は間近
- ▶ライザーレス掘削の効率化を目的とする種々の機器の開発
- ② 過酷な海象・気象環境下での定点保持技術及びライザーハンドリング 技術
 - ▶独自の開発で本技術は南海掘削において実証・確立された
- ③ 労働安全衛生管理と環境保全
 - →世界標準のHSQE統合マネジメントシステムにより、労働安全衛生と環境保全を体系的/組織的に管理

その他トピック

- ▶ メキシコ湾の大事故は、流出油は約80万KLであり、その油回収や坑井封鎖等の対策費用は約600億ドルといわれている。その後、メキシコ湾での掘削の安全基準が強化され、現在の「ちきゅう」のBOPシステムは基準を満たしていない。このことより、商業掘削も限定されることになったと考える。
- ▶ 未達となった理由は「ちきゅう」の機械的な能力の問題ではなく、孔壁の安定性を確保できなかったことによるもの。
- ▶ 孔井掘削において、重要な点のひとつは、いかに孔壁を安定させるかであるが、付加体内の地層は、ほぼ垂直の地層であり、容易に崩壊が発生する。かつ、時間の経過とともに悪化する。(例えば、天候待機や台風待機の間でも崩壊は継続)よって、非常に高度な掘削のマネージメントが必要
- ➤ ヘリコプターの不時着水の対策としてHUET (Helicopter Underwater Escape Training)及びHUETを含むより 包括的な生存訓練であるBOSIET (Basic Offshore Safety Induction and Emergency Training)の考えを導入 「ちきゅう」運用開始に伴い、JAMSTEC屋内水槽にて乗船者に対し簡易的なHUETの提供を2006年に開始 2011年に同訓練の提供を終了。延べ1200人以上に対して訓練を提供。
- ➤ この施設のノウハウを活用し、2011年ニッスイマリン工業(株)が、北九州市に日本サバイバルトレーニングセンターを開設。*OPITO認証を得た日本初の訓練施設として、HUET、BOSIETを含む洋上生存に関する各種訓練を提供。現在までに、民間(航空、海運、資源開発、建設等)や公的団体(消防等)を含む100団体以上からの利用実績

地球惑星科学分野の研究開発動向について ~古環境・古気候研究~

東京大学大気海洋研究所 黒田潤一郎

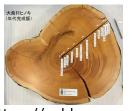
古気候学・古海洋学

古気候アーカイブ Paleoclimate archives

陸上 堆積物



樹木 年輪



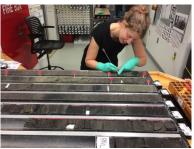
https://pcl.has.env. nagoya-u.ac.jp/

大陸氷床 山岳氷床



https://www.nipr.ac.jp/

海洋堆積物

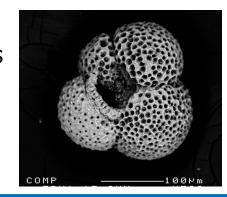


サンゴ骨格



https://www.aori.u-tokyo.ac.jp/

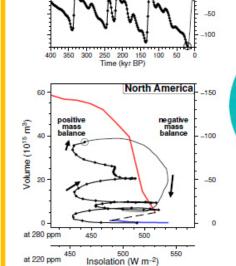
プロキシ Proxies

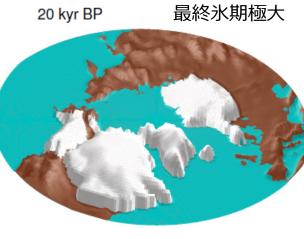


数値モデル Numerical models

https://www.jamstec.go.jp/es/jp/







Abe-Ouchi et al. (2013) Nature https://www.aori.u-tokyo.ac.jp/

この10年での古気候学・古海洋学の進化

- ・情報の空白域(極域やインド洋)が埋められ、理解が進んだ.
- ・ 古い時代の温暖期(鮮新世,中新世,始新世,白亜紀)のデータが増えつつある.
- ・ 温室効果ガスに対する気候感度の理解が進んだ.
- ・ 古CO₂レベルのプロキシなど, プロキシ開発が急速に発展.
- ・ IPCCのAR5, AR6が出版され, 古気候学・古海洋学の重要性がますます認識されつつある.

古気候学・古海洋学の発展に,海洋科学掘削はどう貢献してきたか?

- ・ 空間的空白(極域やインド洋など), 時間的空白(特に古い時代)をカバー
- ・ 氷床コアのない時代(80万年前以前)の古気候情報を提供
- ・ ターゲットとなる時代の「高時間解像度」, 「完全連続」記録を提供
- ・ プロキシ開発に必要な試料を提供,変質の少ない試料を提供.

古気候学・古海洋学の発展に、日本の科学コミュニティや研究ファシリティはどう貢献してきたか?

- ・ 日本海掘削,ベーリング掘削の先導
- ・ IODP掘削コアを用いた古気候・古海洋研究やプロキシ開発
- ・ 非IODP掘削コアを用いた古気候・古海洋研究の推進
- ・ 「ちきゅう」掘削に向けた準備の過程で多様な研究を展開.

Increased interglacial atmospheric CO₂ levels followed the mid-Pleistocene Transition

Masanobu Yamamoto[©]^{1,2}, Steven C. Clemens[©]³, Osamu Seki^{2,4}, Yuko Tsuchiya², Yongsong Huang[©]³, Ryouta O'ishi[©]⁵ and Ayako Abe-Ouchi[©]⁵

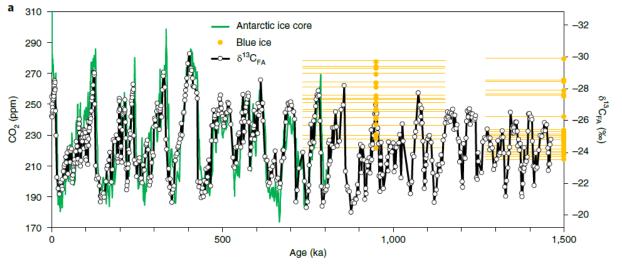
Atmospheric CO_2 and polar ice volume have been strongly coupled over the past 805,000 years. However, the prior extent of coupling, during times of lower-amplitude ice-volume variability, is unknown because continuous high-resolution CO_2 records are lacking. We reconstructed the past 1,460,000 years of atmospheric CO_2 (~1,700 year sample resolution) by taking advantage of the unique relationship between CO_2 concentration and leaf-wax $\delta^{13}C$ resulting from changes in the extent of CO_3 and CO_4 vegetation in East India. Notably, reconstructed interglacial CO_2 concentrations were lower before the transition to large volume variability during the mid-Pleistocene Transition (900,000 years ago). Prior to the mid-Pleistocene Transition, CO_2 exhibited a secular trend similar to that of deep-ocean carbon isotopes. At orbital time scales, phase analysis indicates that the CO_2 lead relative to ice volume changed to a lag during the mid-Pleistocene Transition. Combined, these findings suggest that deep-ocean circulation controlled the long-term CO_2 trend, and that interaction between CO_2 , continental ice and deep-ocean circulation was reorganized during the mid-Pleistocene Transition, involving a decrease in carbon storage in the deep Pacific.

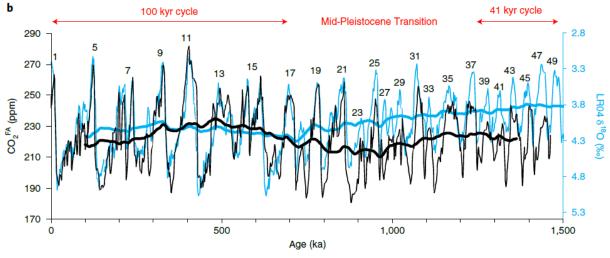
- 過去の大気 CO_2 記録は氷床コアから得られる. 0.8 Maまで 遡ることができる.
- 海底堆積物から過去の大気CO₂記録を得ることが難しかったが、インド洋ベンガル湾の掘削コア(IODP U1446)で得られた**陸上植物起源の脂肪酸炭素同位体比が過去の大気CO₂** 記録を保持していることを確認.
- インド東部では陸上植生に影響を与えるのは大気CO₂濃度であることを数値シミュレーションで検証.
- 気候のペースが変わる中期更新世トランジション(MPT, 1Ma前後)を越えた大気 CO_2 記録が得られた.
- MPT以前は予想外に大気 CO_2 レベルが低かった. 気候感度の時間変化に関する重要な情報が得られた.



ARTICLES

https://doi.org/10.1038/s41561-022-00918-1





Yamamoto *et al*. (2022)

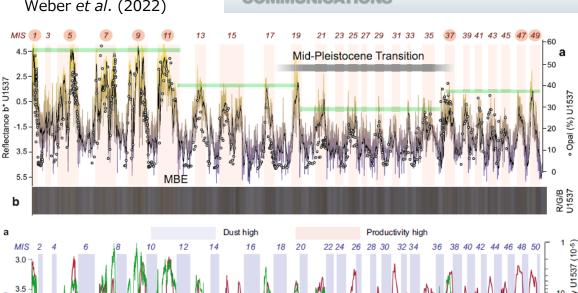
Antiphased dust deposition and productivity in the Antarctic Zone over 1.5 million years

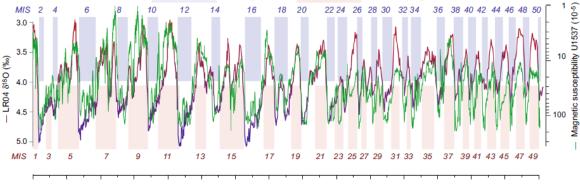
Michael E. Weber ^{1™}, Ian Bailey ², Sidney R. Hemming ³, Yasmina M. Martos ^{4,5}, Brendan T. Reilly⁶, Thomas A. Ronge⁷, Stefanie Brachfeld ⁸, Trevor Williams ⁹, Maureen Raymo³, Simon T. Belt ¹⁰, Lukas Smik¹⁰, Hendrik Vogel 11, Victoria L. Peck¹², Linda Armbrecht 13, Alix Cage 14, Fabricio G. Cardillo 15, Zhiheng Du¹⁶, Gerson Fauth¹⁷, Christopher J. Fogwill ¹⁸, Marga Garcia^{19,20}, Marlo Garnsworthy²¹, Anna Glüder²², Michelle Guitard²³, Marcus Gutjahr ²⁴, Iván Hernández-Almeida ²⁵, Frida S. Hoem ²⁶, Ji-Hwan Hwang²⁷, Mutsumi lizuka²⁸, Yuji Kato ²⁹, Bridget Kenlee³⁰, Suzanne OConnell³¹, Lara F. Pérez³², Osamu Seki³³, Lee Stevens³⁴, Lisa Tauxe⁶, Shubham Tripathi³⁵, Jonathan Warnock of & Xufeng Zheng³⁷

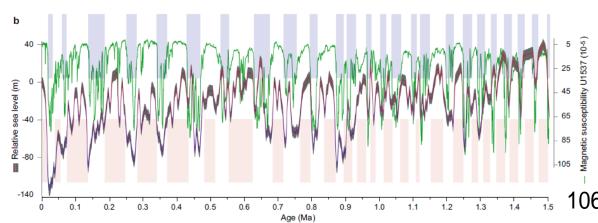
- 氷期に乾燥化でダストの供給が盛んになり,南極海に鉄が 供給されて基礎生産が高まり、氷期に大気CO2が下がった とする仮説を検証.
- 南極海 Scotia Sea の掘削コア(IODP U1537)ではダスト の供給の上昇時期と基礎生産性上昇のタイミングが合わな い. 前者は氷期,後者は間氷期に上昇.
- ダスト供給はMPT以降に顕著になり,基礎生産はMPTでは 低く, 0.4Ma以降に高くなった.
- 南極海が大気CO2の変動や収支に与えた影響についてダス ト供給による基礎生産変化だけでない別のメカニズム(海 氷の被覆による海洋からCO2の放出の制限など)を考える 必要がある.

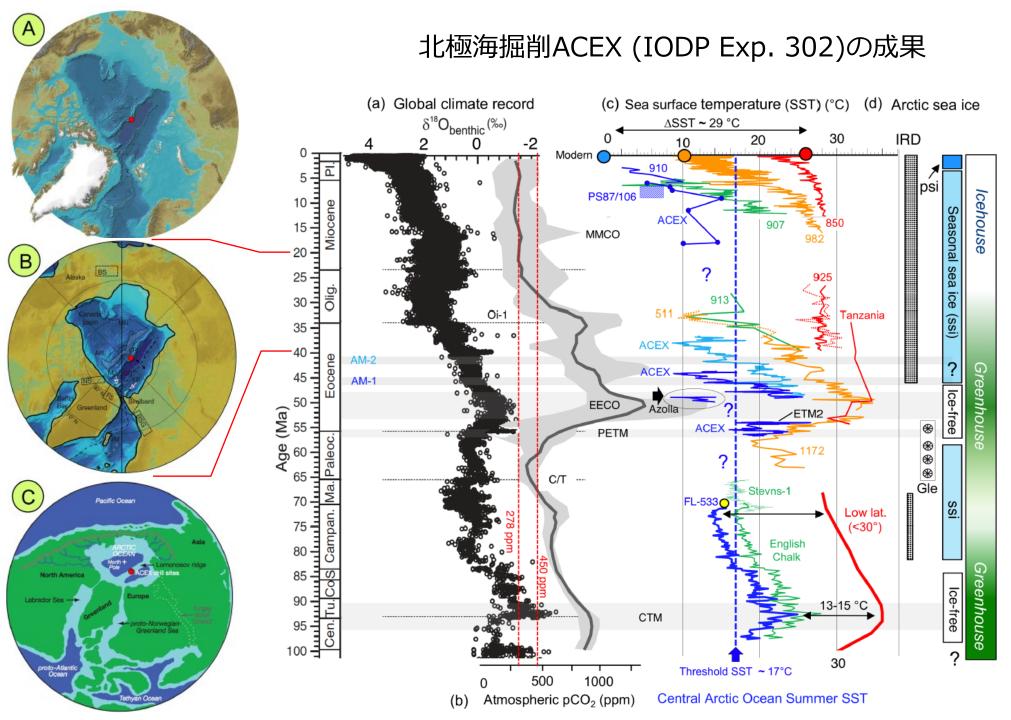


Weber et al. (2022)









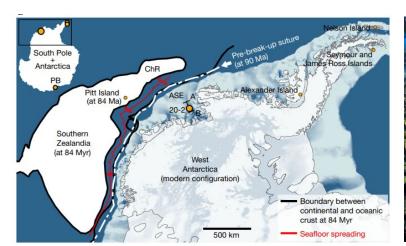
- 北極海の堆積物から,新生代の古気候・古海洋記録の部分的回収に成功. IPCC等に貢献
- 北極海のゲートウェイイベント や地球温暖化の影響による 酸化還元状態の変遷を確認
- 古第三紀には、アカウキクサの 異常繁茂による有機物の濃 縮が起きていることを発見

Article

Temperate rainforests near the South Pole during peak Cretaceous warmth

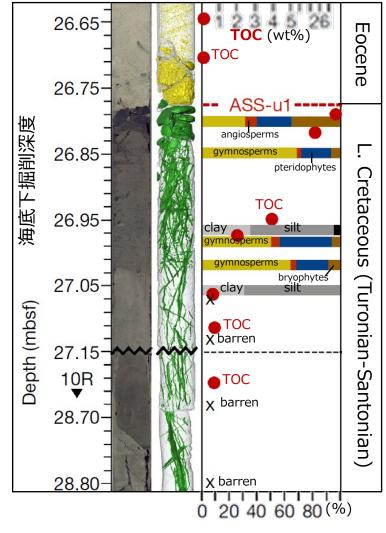
Johann P. Klages^{1™}, Ulrich Salzmann², Torsten Bickert³, Claus-Dieter Hillenbrand⁴, Karsten Gohl¹, Gerhard Kuhn¹, Steven M. Bohaty⁵, Jürgen Titschack^{3,6}, Juliane Müller^{1,3,7}, Thomas Frederichs^{3,7}, Thorsten Bauersachs⁸, Werner Ehrmann⁹, Tina van de Flierdt¹⁰, Patric Simões Pereira^{10,14}, Robert D. Larter⁴, Gerrit Lohmann^{1,3,11}, Igor Niezgodzki^{1,12}, Gabriele Uenzelmann-Neben¹, Maximilian Zundel⁷, Cornelia Spiegel⁷, Chris Mark^{13,15}, David Chew¹³, Jane E. Francis⁴, Gernot Nehrke¹, Florian Schwarz², James A. Smith⁴, Tim Freudenthal³, Oliver Esper¹, Heiko Pälike^{3,7}, Thomas A. Ronge¹, Ricarda Dziadek¹ & the Science Team of Expedition PS104*

- 南極アムンゼン湾の掘削(非IODP) の白亜紀の堆積物に植物の根の化石,裸子植物,シダ植物,被子植物の花粉や胞子の化石が豊富に含まれる.
- 南極では白亜紀の最温暖期に温帯雨林が広がっていた。
- 気候モデルでは、高緯度の温帯気候の復元には大気CO2濃度1120-1680 ppmで、かつ南極大陸に大規模氷床がなく植生が覆うことの両方が必要.
- 氷アルベドが及ぼす冷却効果の重要性が強調される結果.





西南極アムンゼン湾の掘削コア (74°S) Drilled core at Amundsen Sea Embayment, West Antarctica



Klages et al. (2020)

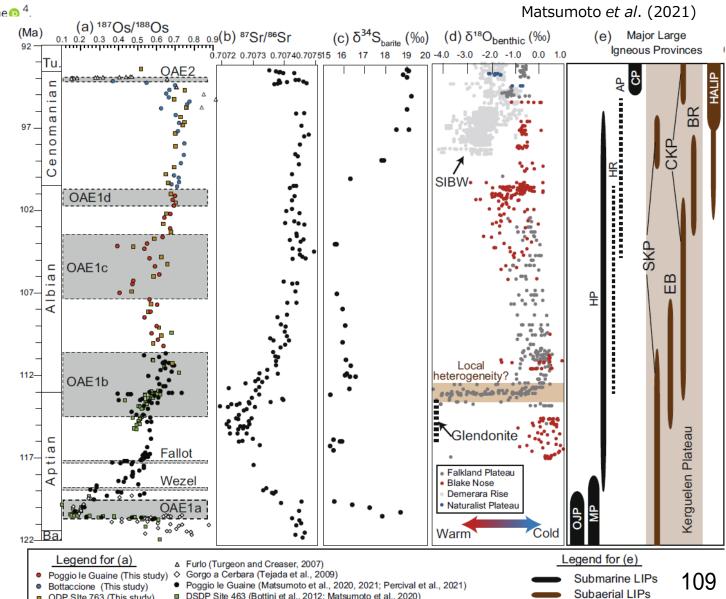
Mid-Cretaceous marine Os isotope evidence for heterogeneous cause of oceanic anoxic events

nature

Hironao Matsumoto^{1⊠}, Rodolfo Coccioni₀ ², Fabrizio Frontalini₀ ³, Kotaro Shirai₀ ¹, Luigi Jovane₀ ⁴.

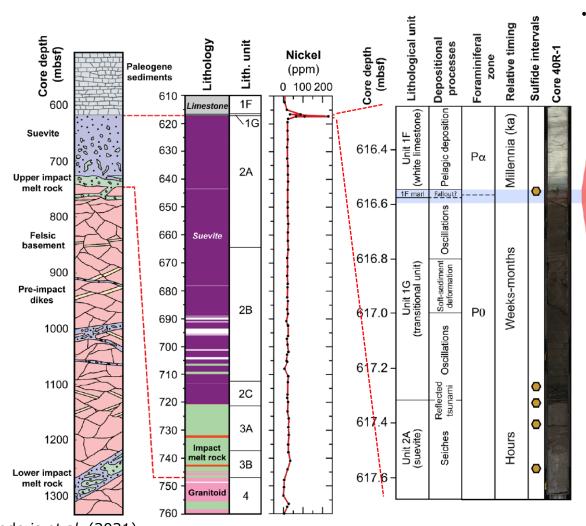
Ricardo Trindade (1) ⁵, Jairo F. Savian (1) ⁶ & Junichiro Kuroda ¹

- 白亜紀の122~93 Ma の堆積物のオスミウム同位体(187Os/188Os)変動が完成.
- Os同位体比はマントルからの物質供給(巨大火成岩岩石区)や天体衝突で低下する.
- Os同位体比の低下のタイミングは,大規模な海洋 無酸素イベントと同時に起こった.
- 地球内部プロセスと表層システムが密接にリンク していることを示す結果
- Os同位体のような放射性起源核種の同位体組成を 正確に復元するには、陸上露頭は不向き(変質に より閉鎖系が保持されていない)で、掘削コアが 必要であることも判明した.



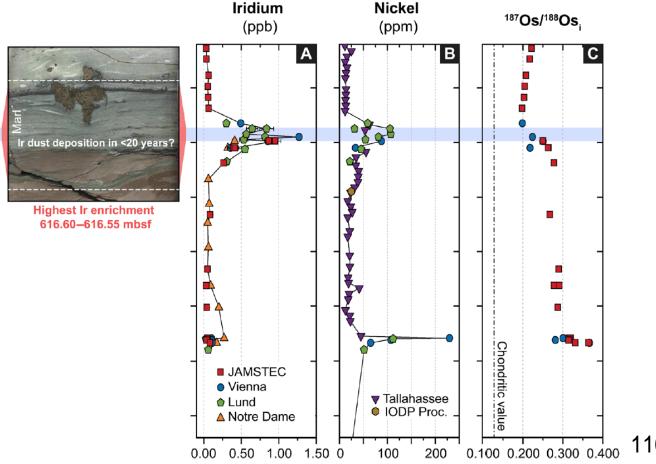
GEOLOGY

Globally distributed iridium layer preserved within the Chicxulub impact structure

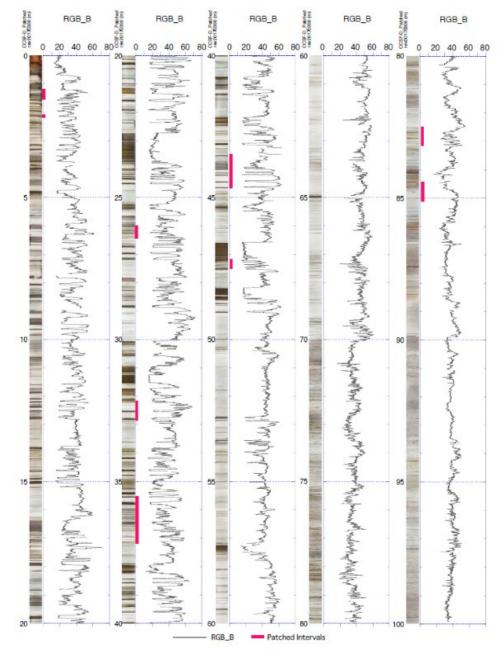


Steven Goderis^{1*}, Honami Sato^{2,3}, Ludovic Ferrière⁴, Birger Schmitz⁵, David Burney⁶, Pim Kaskes^{1,7}, Johan Vellekoop^{1,8}, Axel Wittmann⁹, Toni Schulz^{10,11}, Stepan M. Chernonozhkin¹², Philippe Claeys¹, Sietze J. de Graaff^{1,7}, Thomas Déhais^{1,7}, Niels J. de Winter^{1,13}, Mikael Elfman⁵, Jean-Guillaume Feignon¹⁰, Akira Ishikawa^{14,3}, Christian Koeberl¹⁰, Per Kristiansson⁵, Clive R. Neal⁶, Jeremy D. Owens¹⁵, Martin Schmieder^{16,17}, Matthias Sinnesael^{1,18}, Frank Vanhaecke¹², Stijn J. M. Van Malderen¹², Timothy J. Bralower¹⁹, Sean P. S. Gulick^{20,21,22}, David A. Kring¹⁷, Christopher M. Lowery²⁰, Joanna V. Morgan²³, Jan Smit²⁴, Michael T. Whalen²⁵, IODP-ICDP Expedition 364 Scientists[†]

- ・チクシュルブインパクトクレーターのピークリング掘削(Exp 364)
- ・衝突角礫岩ではなく、その直上に堆積した細粒堆積物中に白金族元素異常を発見.



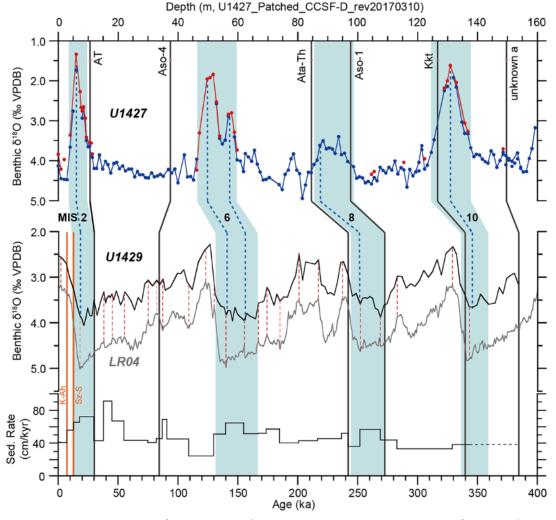
Goderis et al. (2021)



過去約300万年間の日本海堆積物の画像および明暗値 (RGB_B)の完全連続記録(サイトU1424). Irino et al. (2018) PEPS

日本海・東シナ海掘削 (IODP Exp. 346)

日本海と東シナ海で過去250万年にわたる高時間解像度古気候・古海洋記録を取得.東アジアモンスーンの長期変化の理解が進む.



火山灰対比に基づく,日本海の掘削サイトU1427,東シナ海北部の掘削サイトU1429の底生有孔虫 δ^{18} Oの対応関係

Sagawa et al. (2018) PEPS

「ちきゅう」表層科学掘削プログラム(SCORE) Exp. 913 で四国沖掘削により更新世の黒潮変動解明の研究がスタート

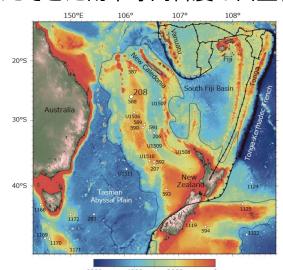
- ・ 「ちきゅう」による初の古海洋研究航海
- ・ 過去100万年間の黒潮変動の解明(首席:池原実教授)
- ・ 教育乗船枠での大学院生乗船機会の提供





http://j-desc.org/about_us/about-iodp/score/#SCOREreport01

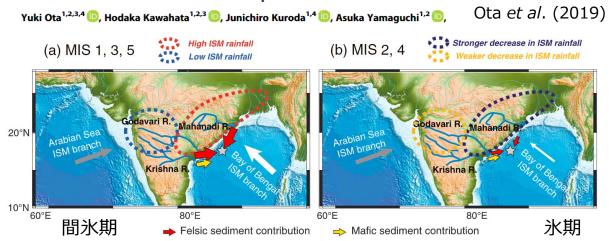
「ちきゅう」ロードハウライズ掘削に向けた日・豪共同研究 で見えてきた南半球高緯度の白亜紀末天体衝突の影響.



Kuroda et al. (2022) GSA Bull.

「ちきゅう」インド洋ベンガル湾掘削コアから得られた 南アジアモンスーンの履歴. Geochemistry, Geophysics, Geosystems

Indian Monsoonal Variations During the Past 80 Kyr Recorded in NGHP-02 Hole 19B, Western Bay of Bengal: Implications From Chemical and Mineral Properties



「ちきゅう」地中海掘削に向けた日・欧共同研究による中新世 メッシニアン塩分危機の理解と生物地球化学サイクル

SCIENTIFIC REPORTS

Isaji et al. (2019)

OPEN

Efficient recycling of nutrients in modern and past hypersaline environments

ved: 8 August 2018

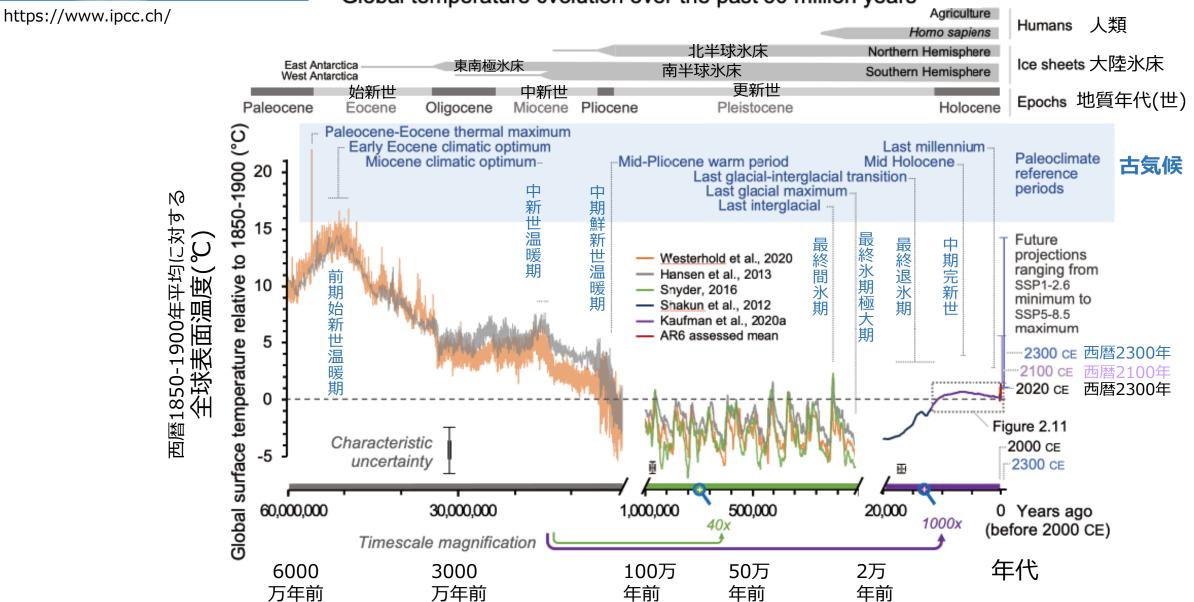
Y. Isaji 👵 1, H. Kawahata², N. O. Ogawa¹, J. Kuroda², T. Yoshimura 👵 1, F. J. Jiménez-Espejo 1, A. Makabe⁴, T. Shibuya⁵, S. Lugli⁵, A. Santulli², V. Manzi 🕞 8, M. Roveri 🕞 8 & N. Ohkouchi¹

> 2016年 東京大学 理学部地球惑星環境学科 海外巡検 @伊シチリア



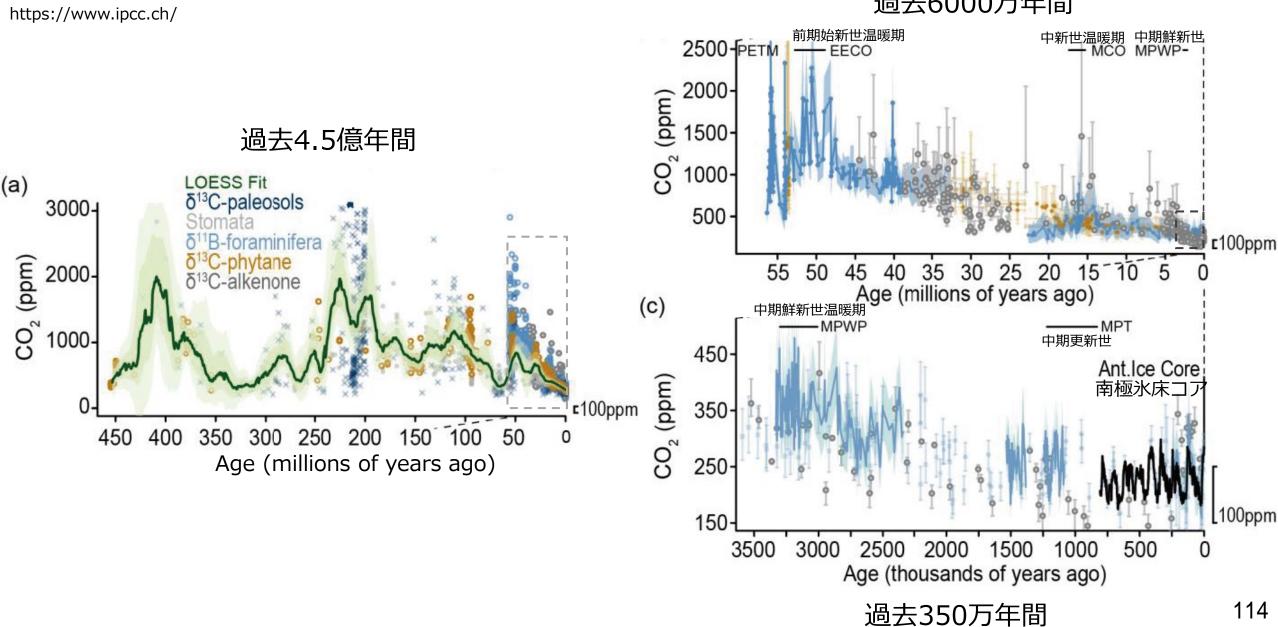
過去6000万年間のグローバル温度履歴

Global temperature evolution over the past 60 million years



大気二酸化炭素 (CO₂)濃度の履歴





この10年での古気候学・古海洋学の進化

- ・情報の空白域(極域やインド洋)が埋められ、理解が進んだ.
- ・ 太古の温暖期(鮮新世,中新世,始新世,白亜紀)のデータが増えつつある.
- ・ 温室効果ガスに対する気候感度の理解が進んだ.
- ・ 古CO₂レベルのプロキシなど, プロキシ開発が急速に発展.
- ・ IPCCのAR5, AR6が出版され, 古気候学・古海洋学の重要性がますます認識されつつある.

古気候学・古海洋学の発展に,海洋科学掘削はどう貢献してきたか?

- ・ 空間的空白(極域やインド洋など), 時間的空白(特に古い時代)をカバー
- ・ 氷床コアのない時代(80万年前以前)の古気候を提供
- ・ ターゲットとなる時代の「高時間解像度」, 「完全連続」記録を提供
- ・ プロキシ開発に必要な試料を提供,変質の少ない試料を提供.

科学海洋掘削のコア・データで なければ得られなかった知見が 多く得られた.

科学海洋掘削(IODP)が決定的

きた。

に重要なデータセットを出して

古気候学・古海洋学の発展に、日本の科学コミュニティや研究ファシリティはどう貢献してきたか?

- ・ 日本海掘削,ベーリング掘削の先導
- ・ IODP掘削コアを用いた古気候・古海洋研究やプロキシ開発
- ・ 非IODP掘削コアを用いた古気候・古海洋研究の推進
- ・ 「ちきゅう」掘削に向けた準備の過程で多様な研究を展開.

「ちきゅう」自体で実施された 古気候研究は多くないが、IODP でイニシアチブをとってきたこ とが重要な成果に繋がっている.

海洋堆積物は今後も最も有用な古気候・古環境情報アーカイブであり続ける.特に海洋科学掘削は,古い時代 (第四紀以前など)の気候・海洋環境を知るほぼ唯一の手段.今後も氷床コア,陸上堆積物,サンゴ骨格といった他のアーカイブを用いた研究と共進化し,さらに正確で高時間空間解像度の記録を得る必要がある.