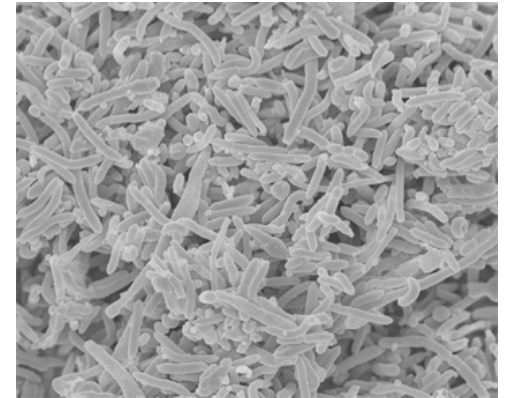


駿河湾からの贈りもの メタン！

～プレート運動・温泉・微生物・地下資源のはなし～



木村 浩之（静岡大学 理学部 地球科学科）

木村の専門分野

理学部地球科学科 / グリーン科学技術研究所 / 防災総合センター

地球科学

プレート運動
地質・堆積物
環境変動

微生物学

生態
エネルギー代謝
物質循環

バイオ工学

メタン発酵
水素ガス生成
グリーン科学

今求められている環境問題への対応

○脱炭素型社会の構築

カーボンニュートラル

(CO₂排出削減、CO₂回収・資源化)

○循環型社会の構築

サーキュラーエコノミー

(ごみ処理、プラスチック資源のリサイクル、
バイオマスのリサイクル、食品ロス対策)

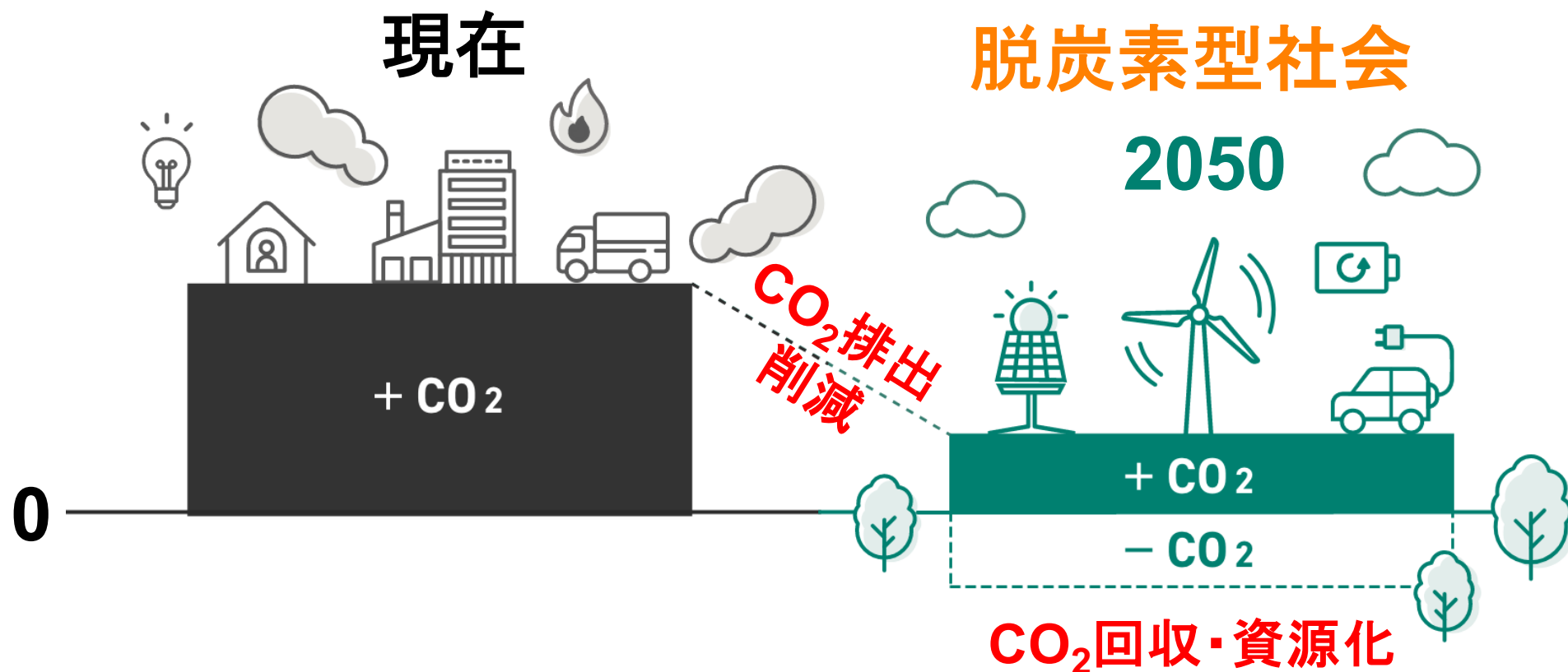
○自然共生型社会の構築

地域の自然環境の理解・災害リスクの軽減
地域資源の有効利用

カーボンニュートラル

○ 2020年10月に日本政府が掲げた目標

2050年までに温室効果ガス排出を全体としてゼロにする



サーキュラーエコノミー

リニアエコノミー
(線型経済)



サーキュラーエコノミー
(循環経済)



自然共生型社会の構築

○地域の自然環境の理解・災害リスクの軽減

○地域資源の有効利用

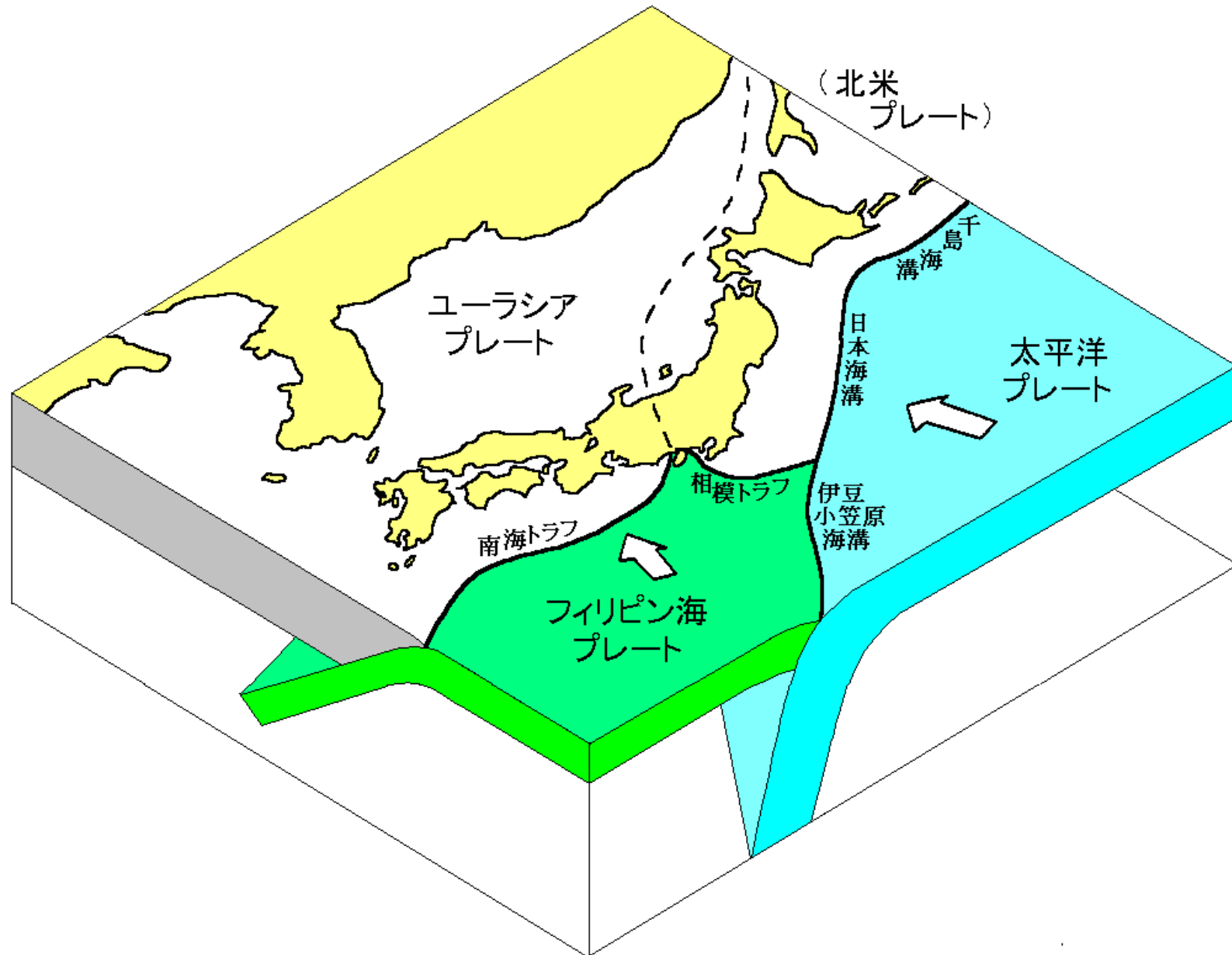
- ・生態系機能・生物多様性特性の解明
- ・水環境の監視・評価・管理
- ・河川流域・湾岸地域の整備・管理
- ・自然共生化技術・防災技術の開発



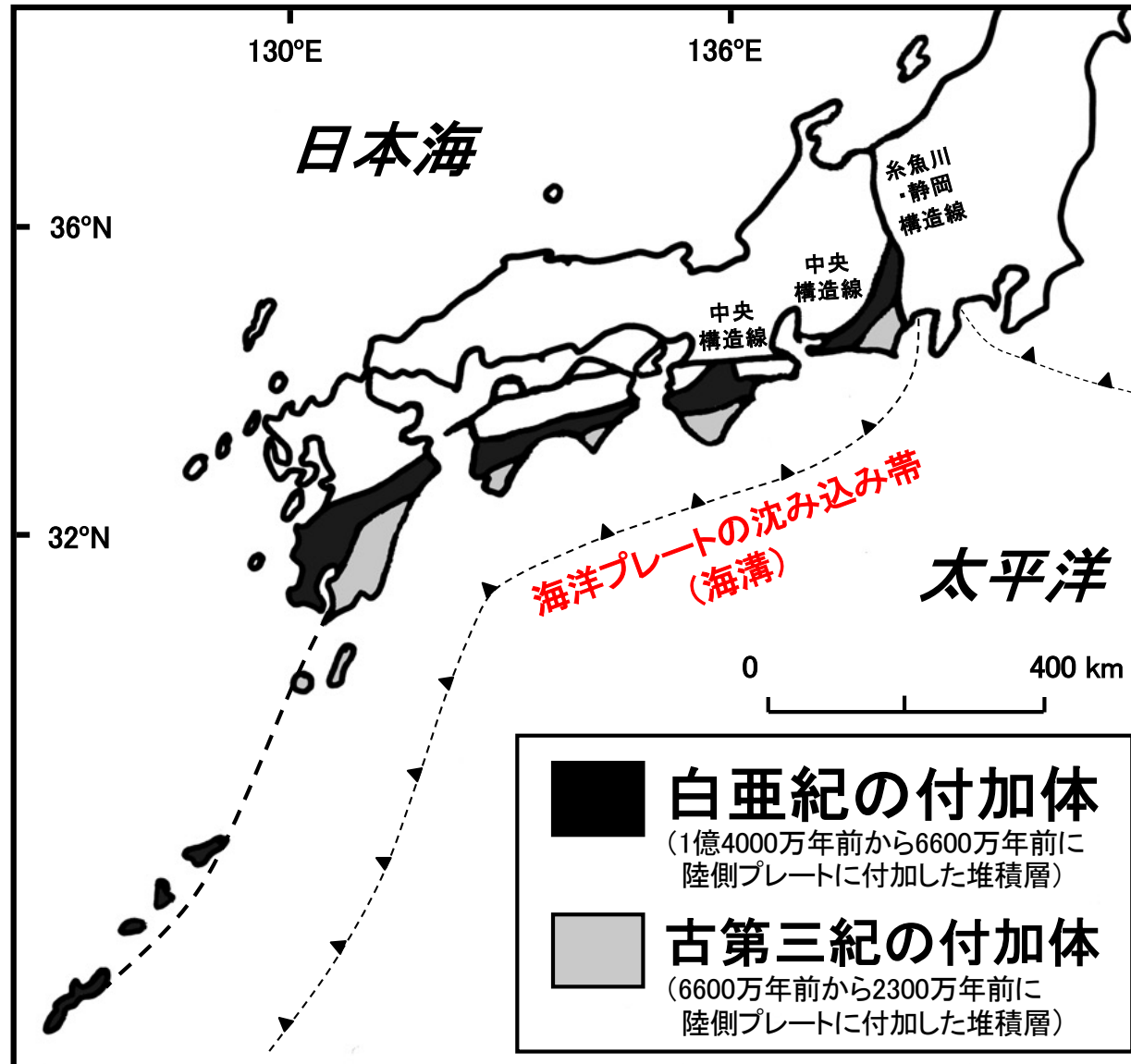
安全で安心な社会の構築

地域、国、大陸、海洋、地球全体の理解

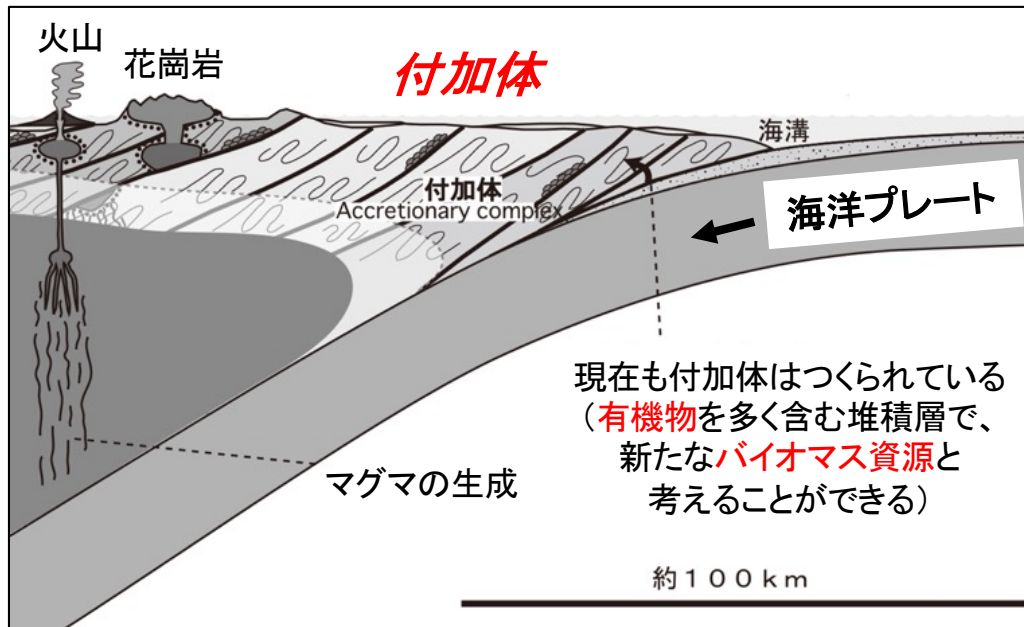
日本周辺のプレート運動



西南日本に広く分布する付加体



付加体の構造、地下水、メタン

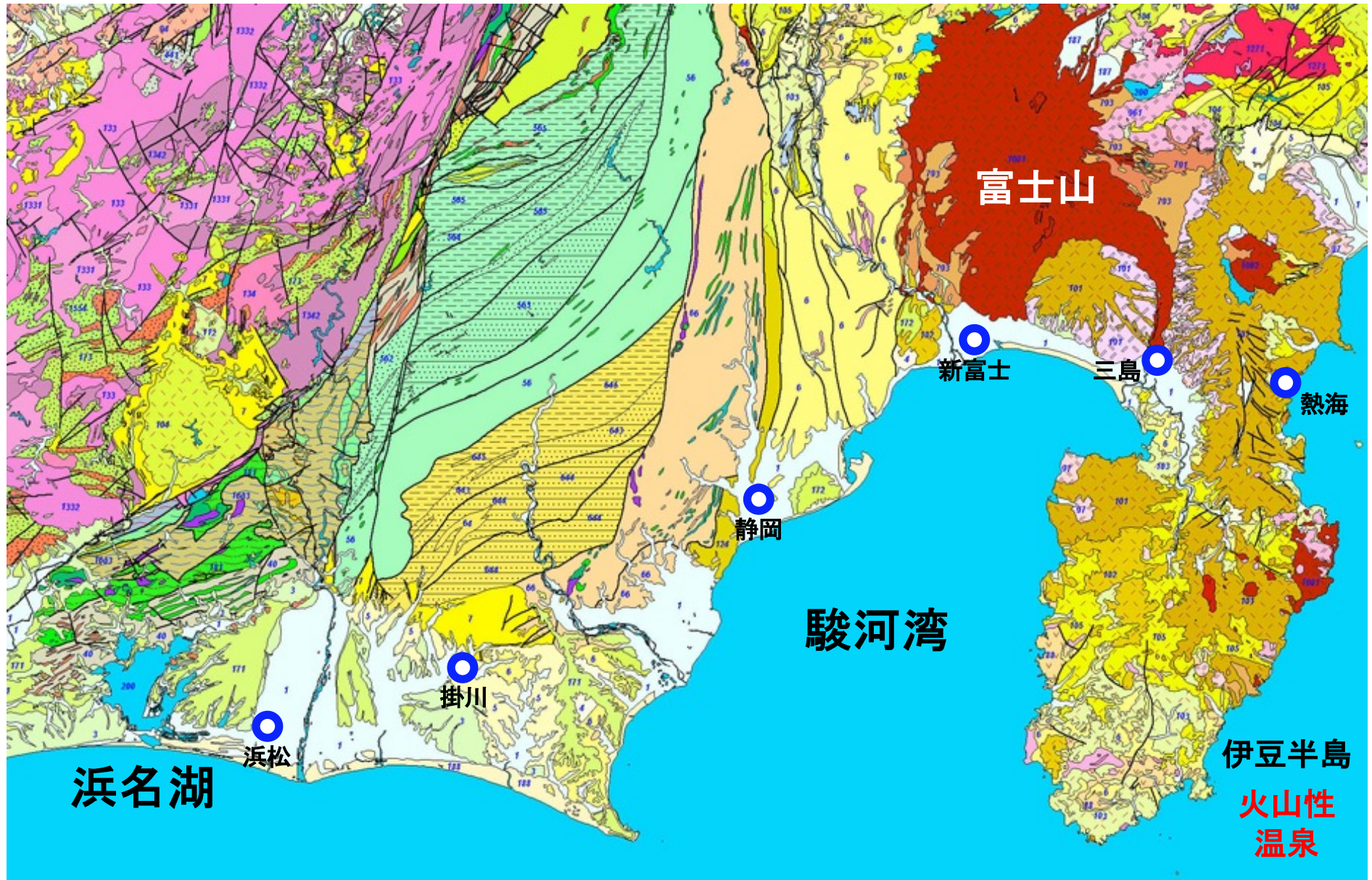


- 付加体は、西南日本の太平洋側に分布
- 付加体は、深度10 km以上の**厚い堆積層**
- 付加体は、**海底堆積物に由来する**
- 付加体の堆積層は、**有機物**を多く含む
- 付加体の深部帯水層は、**地下水**を含む
- 付加体の深部帯水層は、**メタン**を多く含む
- 付加体の深部帯水層には、**メタンを生成する微生物群集**が生息する

温泉施設が所有する大深度掘削井から湧出する地下水(非火山性温泉)と温泉付随ガス(メタン)

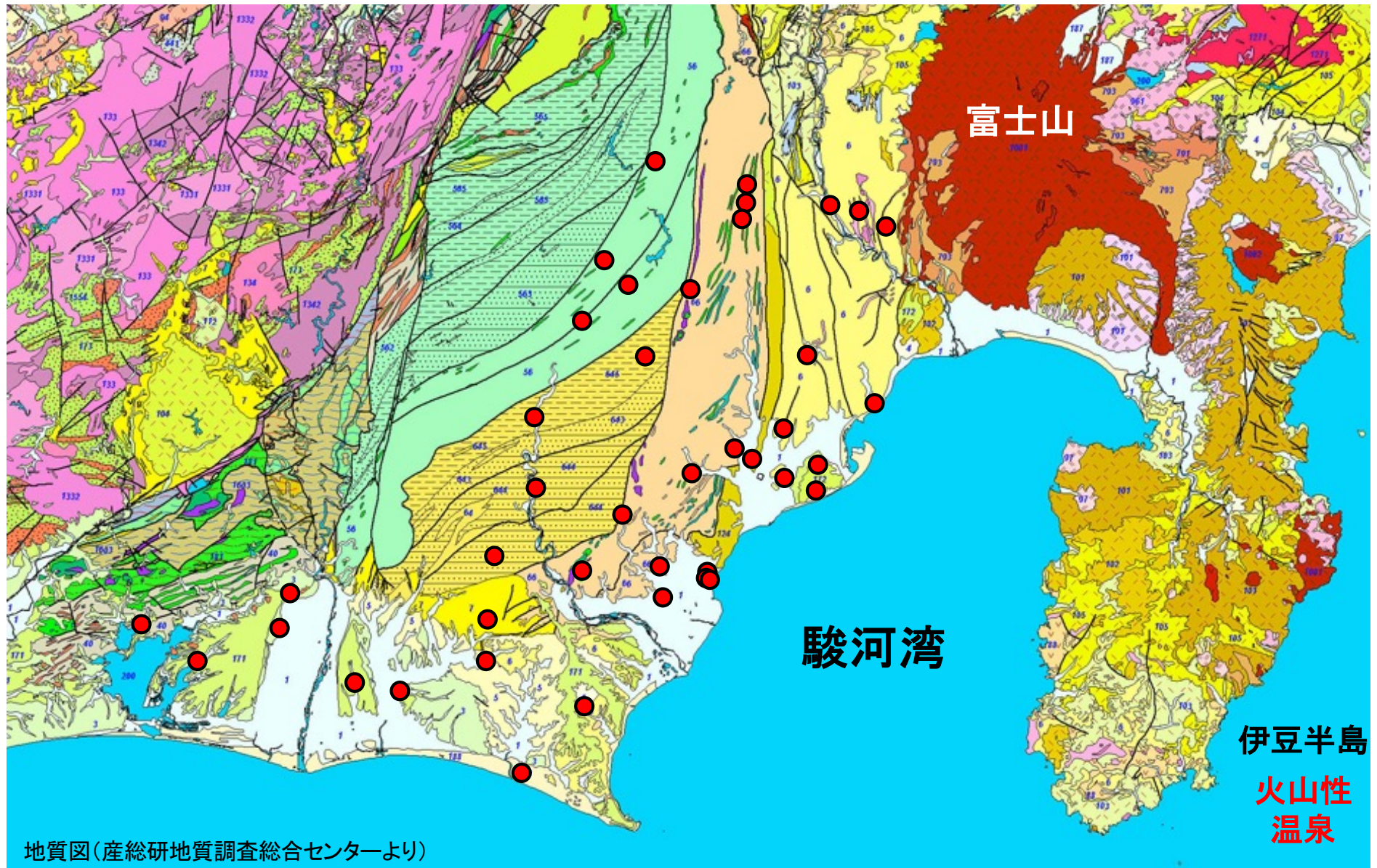


静岡県の表層地質図



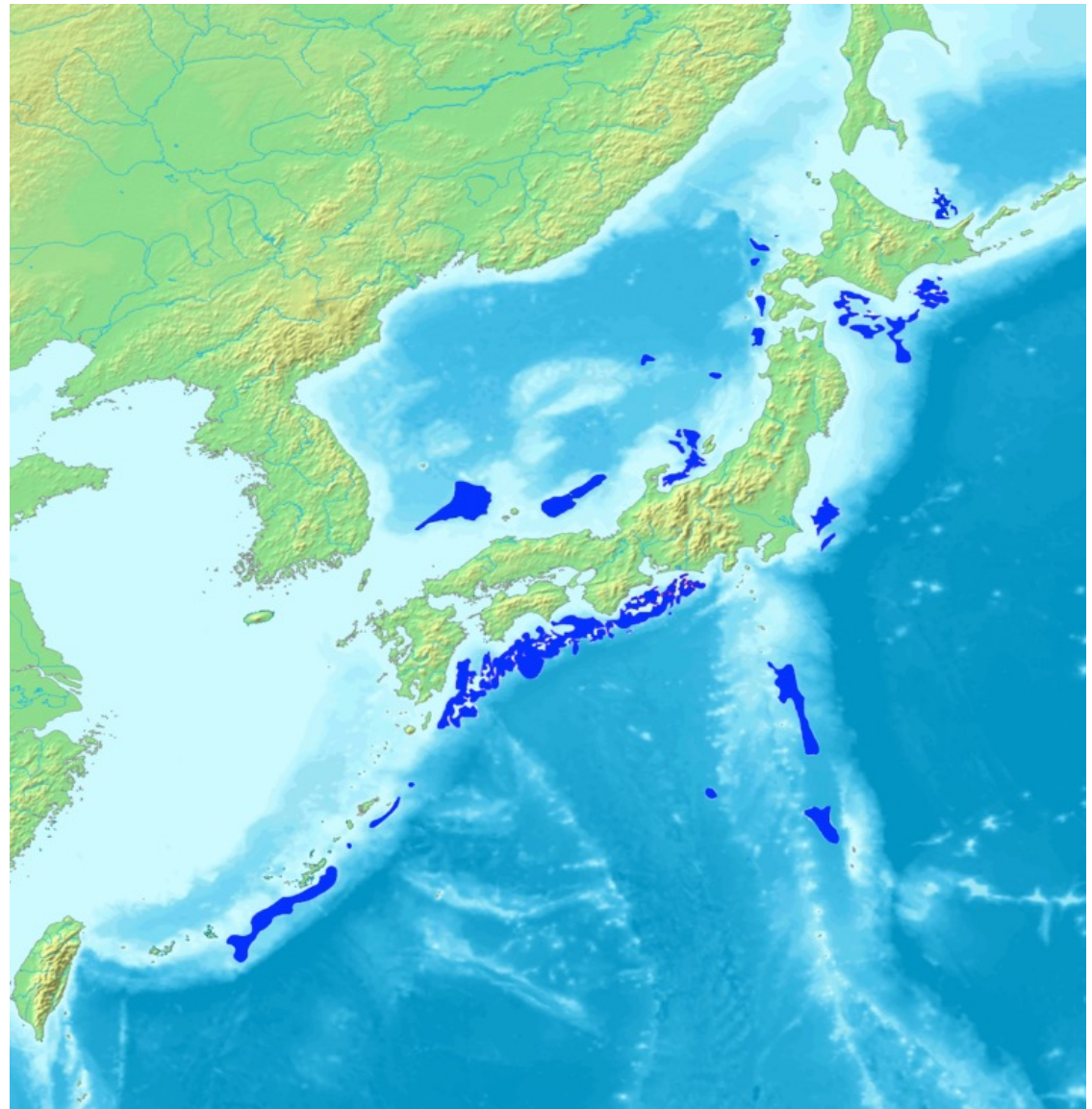
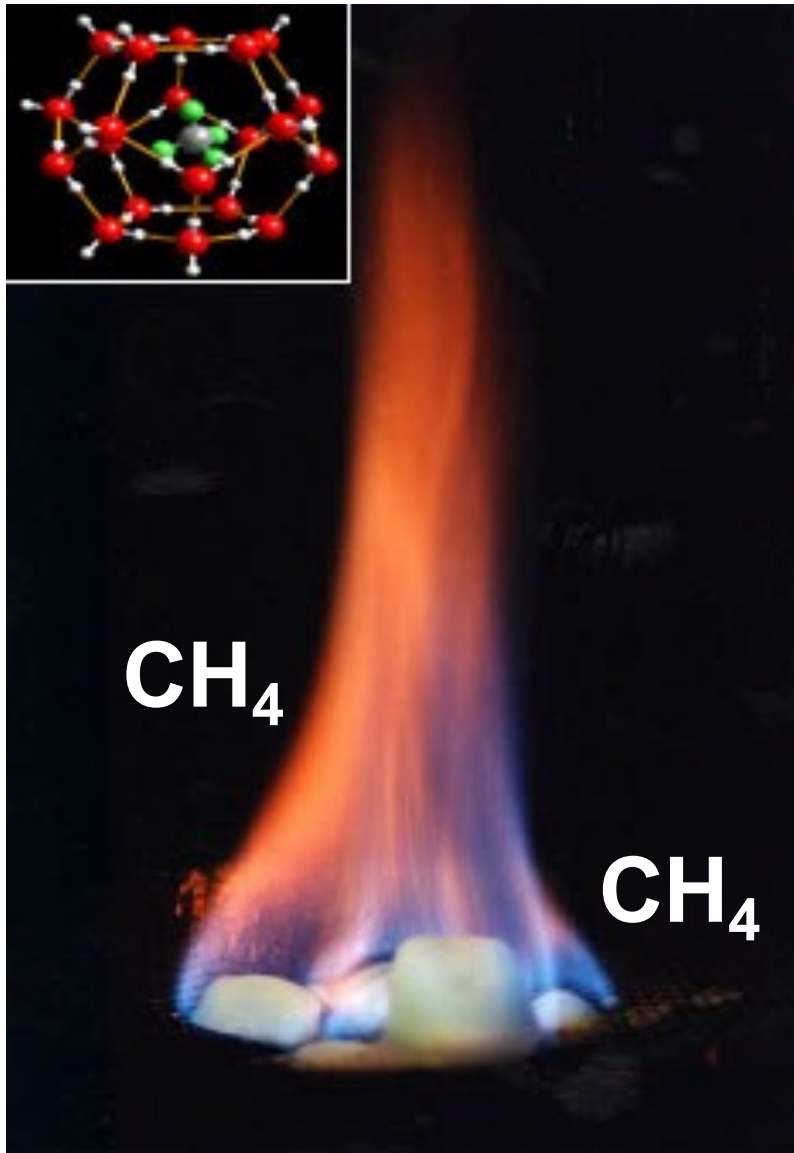
産業技術総合研究所地質調査総合センターより

静岡県中西部の温泉用掘削井

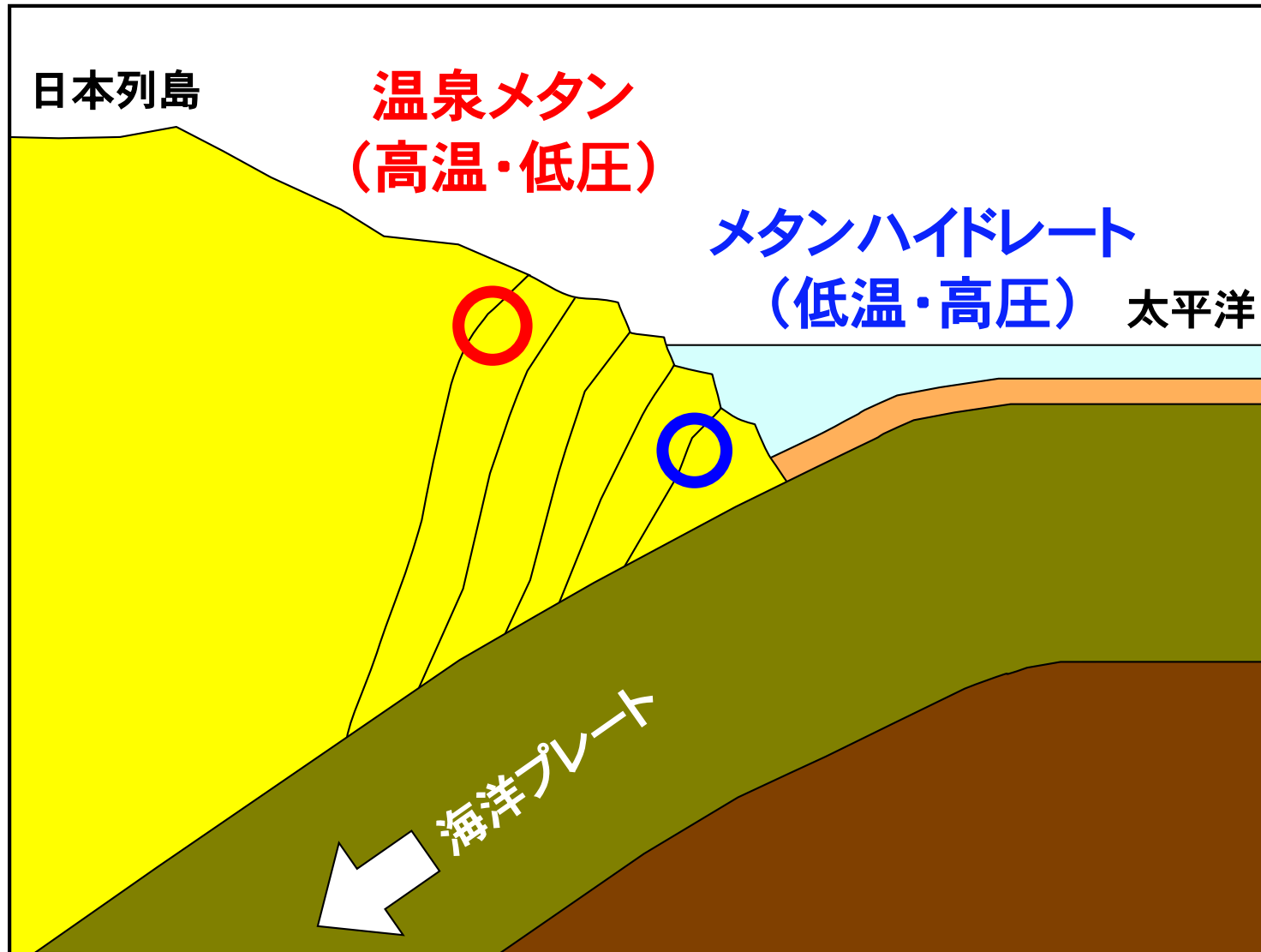


(温泉施設が所有する大深度掘削井: 深度150~2,000mの掘削井)

メタンハイドレートの分布



温泉メタンとメタンハイドレート



地球科学と微生物学の融合

- 静岡県中西部、九州南部、沖縄本島の温泉施設が所有する大深度掘削井にて、付加体の深部帯水層に由来する地下水（**非火山性温泉**）および付随ガス（**メタン**）を採取した。
- 地質学、地球化学、同位体化学的分析を試み、付随ガスに含まれる**メタンの起源**を明らかにした。
- 温泉水に含まれる微生物群集を対象とした遺伝子解析、嫌気培養、補酵素（F₄₃₀）の定量を行い、付加体の深部帯水層中での**メタン生成メカニズム**を明らかにした。

Kimura et al. (2010) *The ISME Journal* 4, 531-541

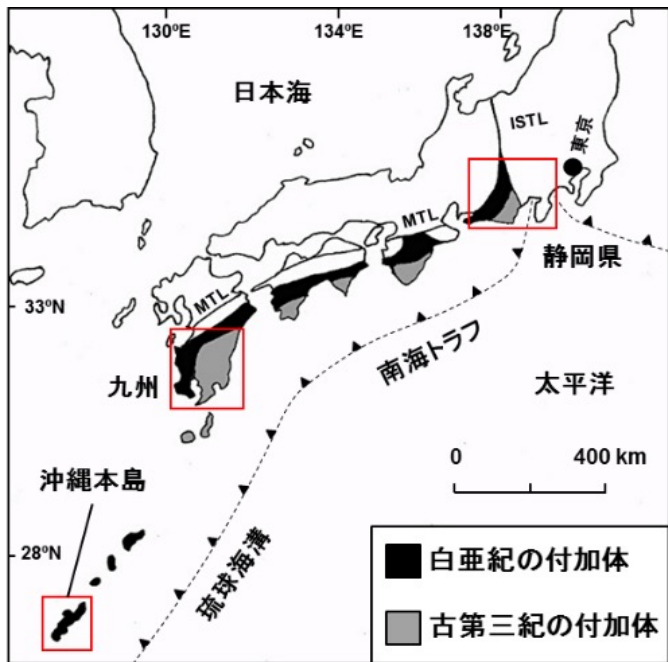
Matsushita, Kimura et al. (2016) *Microbes Environ.* 31, 329-338

Matsushita, Kimura et al. (2018) *Microbes Environ.* 33, 205-213

Matsushita, Kimura et al. (2020) *Microbes Environ.* 35, ME19103

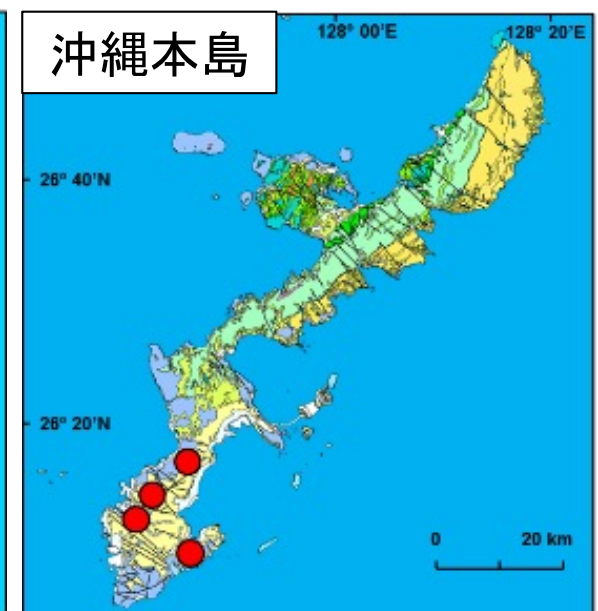
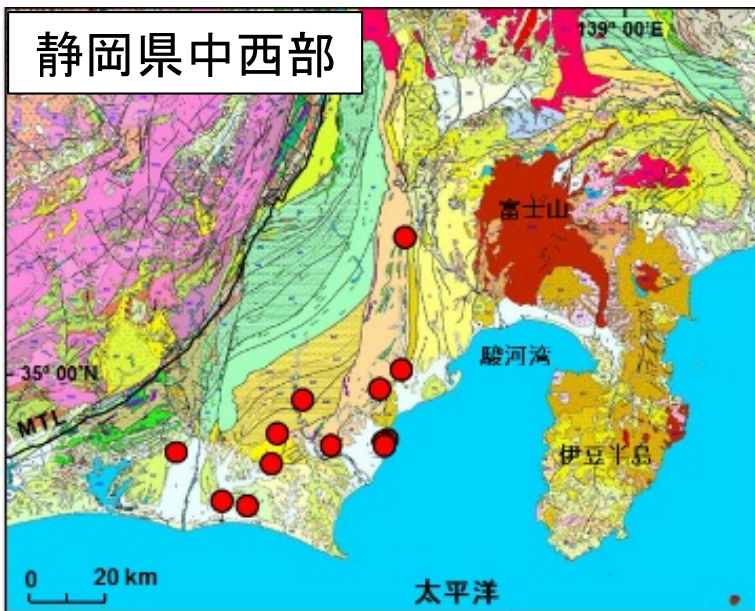
Iso, Kimura et al. (2024) *Microorganisms* 12, 679

研究サイトと研究内容

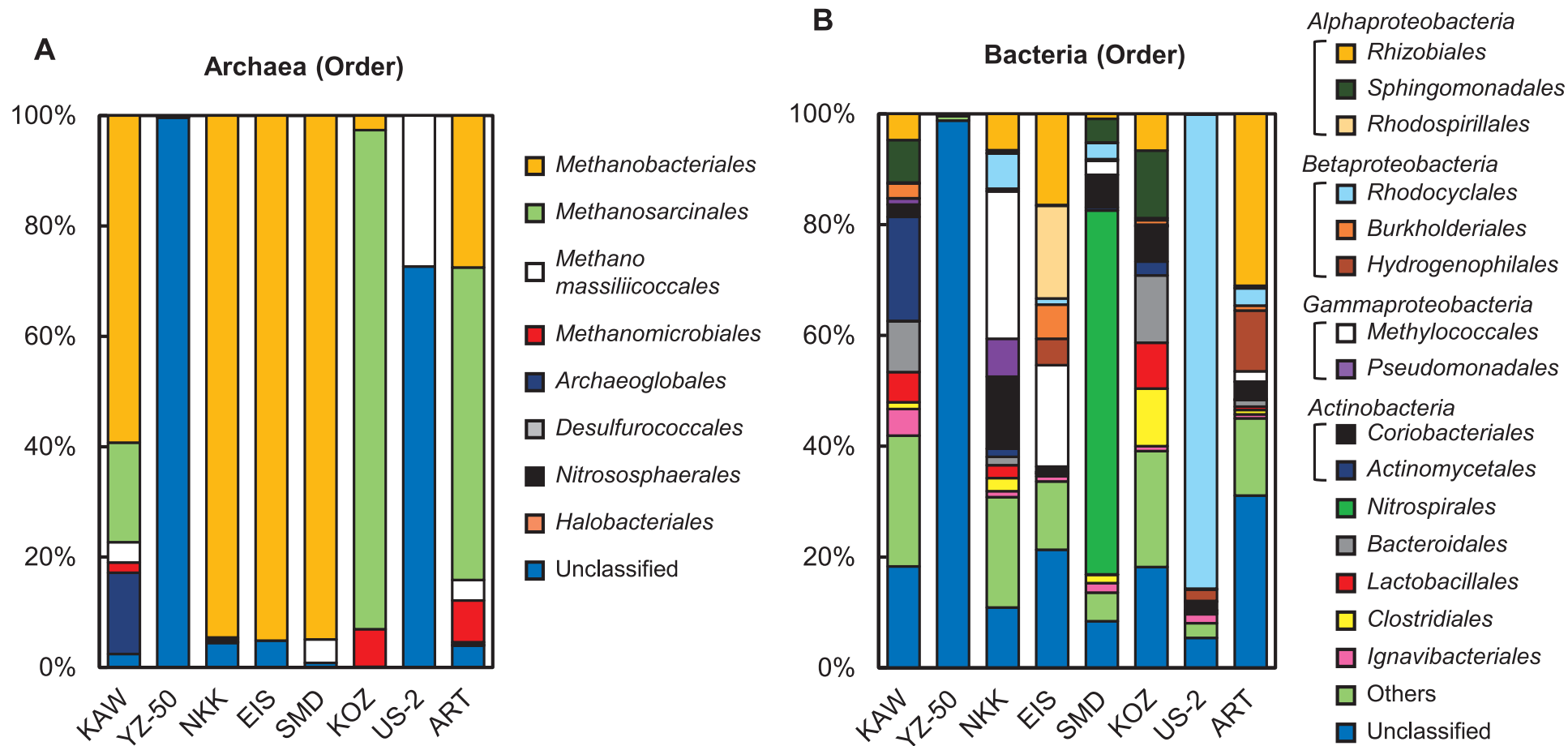


- 静岡県中西部
- 宮崎県南東部
- 沖縄本島南部

温泉用掘削井にて採取した地下水と付随ガスの化学分析、安定同位体比解析、微生物群集の遺伝子解析、微生物群集の嫌気培養を実施した。



微生物群集の遺伝子解析

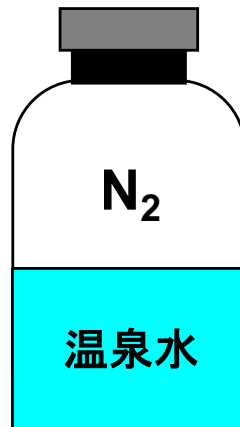


Matsushita, Kimura et al. (2016) *Microbes Environ.* 31, 329-338.

発酵細菌とメタン生成菌の共培養

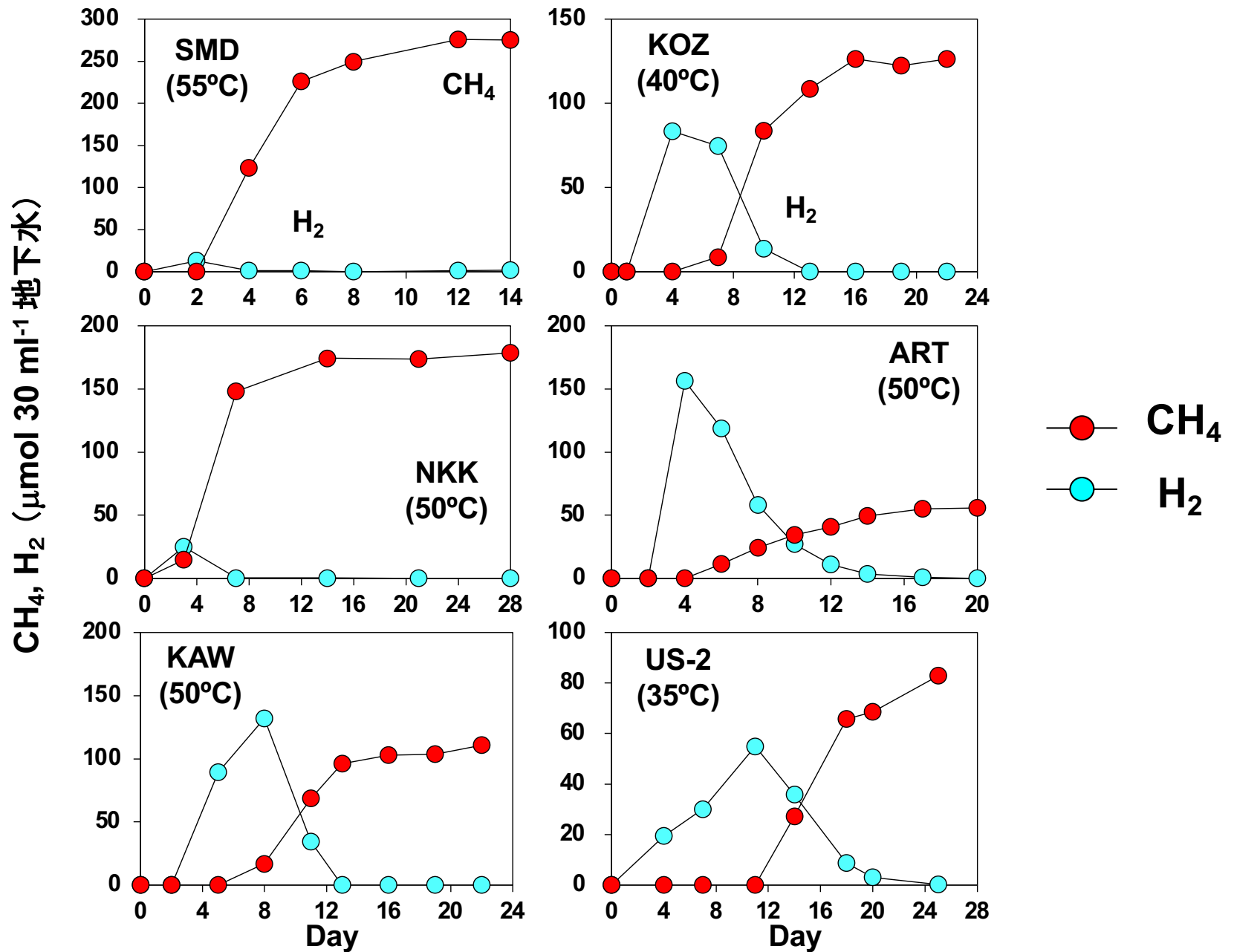
有機基質 (YPG)

(酵母エキス + ペプトン + グルコース)



バイアル瓶 70 ml (地下水 30 ml)

発酵細菌とメタン生成菌の共培養



発酵細菌の嫌気培養

有機基質 (YPG)

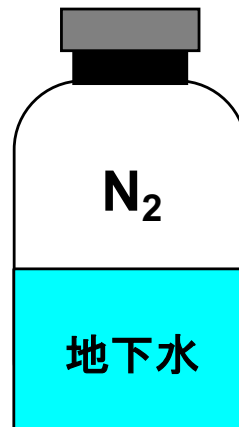
(酵母エキス + ペプトン + グルコース)

+

Bromoethanessulfonate (BES)

$\text{Br} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{SO}_3\text{H}$

(メタン生成菌に特異的な阻害剤)

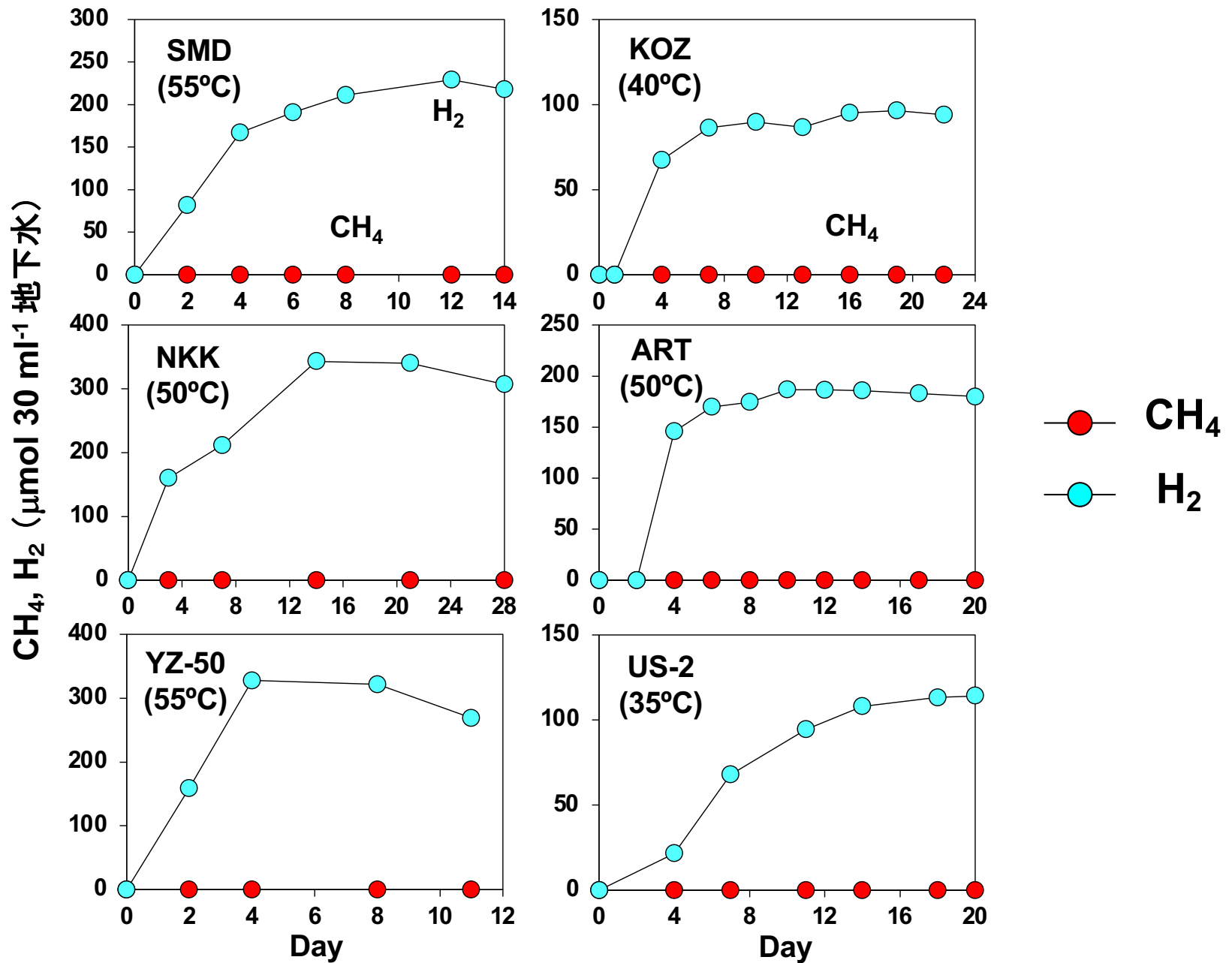


有機物 \rightarrow $\text{H}_2 + \text{CO}_2$

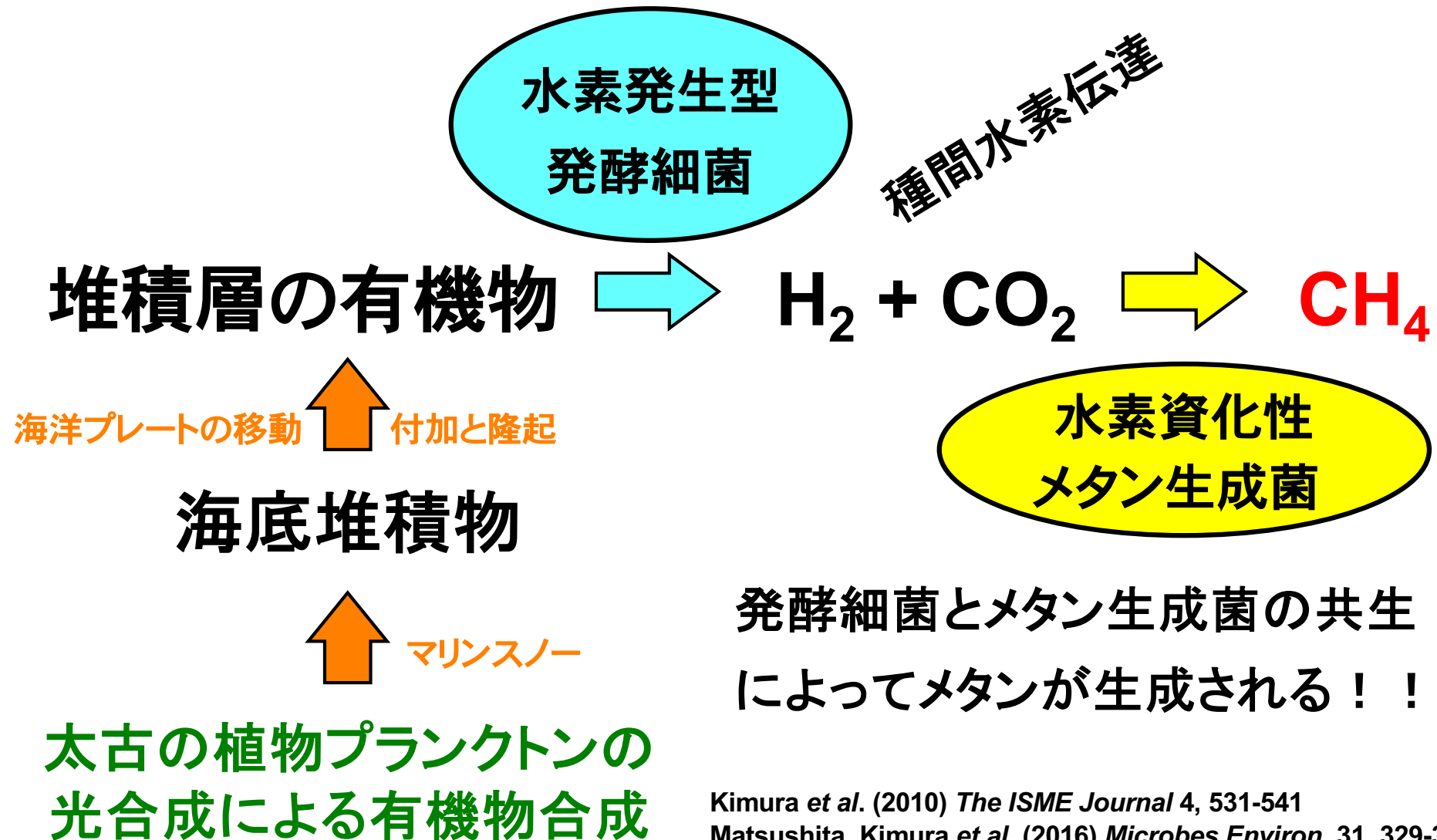
~~$\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4$~~

バイアル瓶 70 ml (地下水 30 ml)

水素発生型発酵細菌



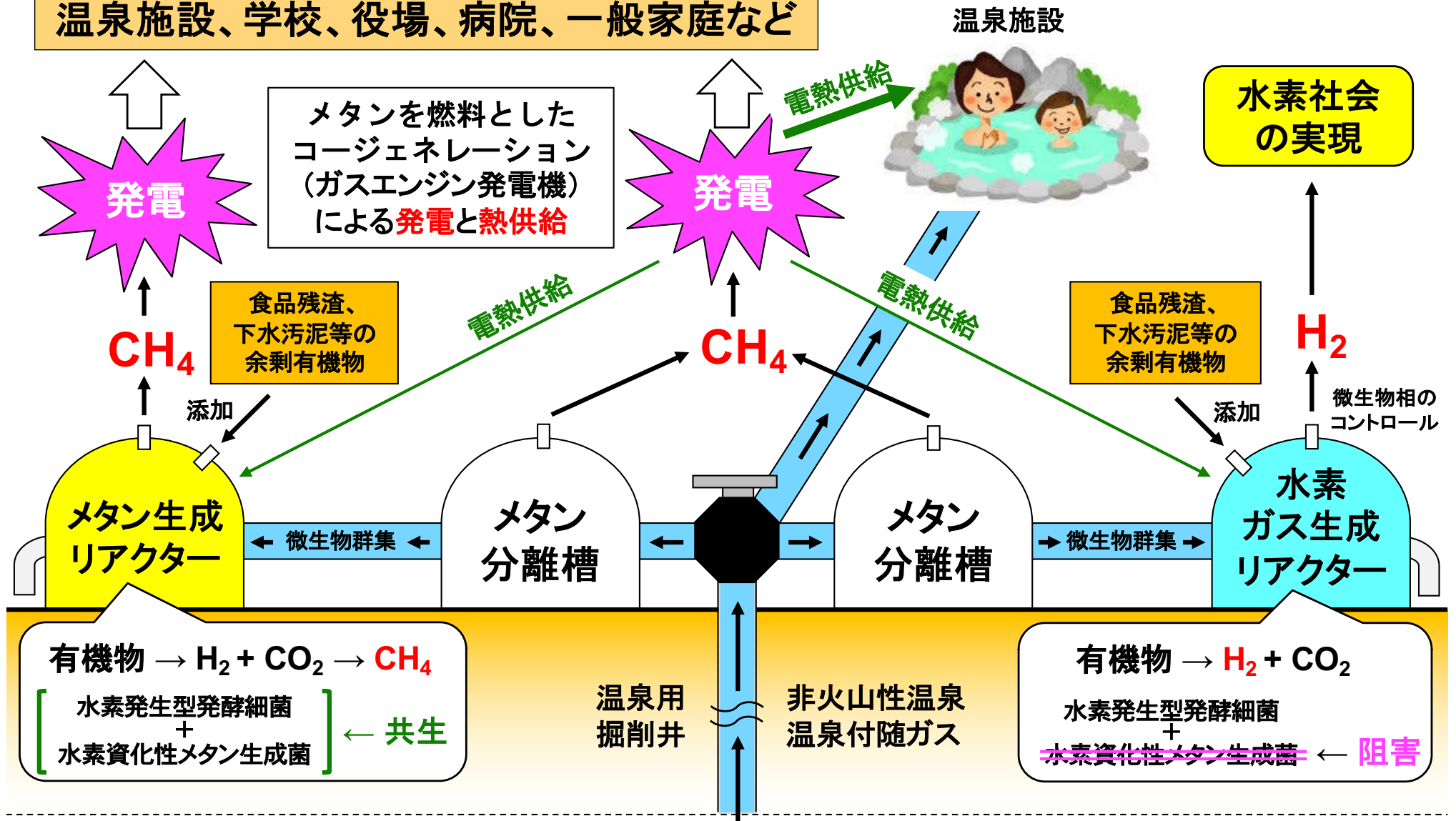
深部帯水層でのメタン生成メカニズム



Kimura et al. (2010) *The ISME Journal* 4, 531-541
Matsushita, Kimura et al. (2016) *Microbes Environ.* 31, 329-338
Matsushita, Kimura et al. (2018) *Microbes Environ.* 33, 205-213
Matsushita, Kimura et al. (2020) *Microbes Environ.* 35, ME19103
Iso, Kimura et al. (2024) *Microorganisms* 12, 679

分散型エネルギー生産システム

温泉施設、学校、役場、病院、一般家庭など



付加体の深部帯水層 = 有機物が豊富で、高い活性をもつ微生物群集が生息する**天然のメタン生成リアクター**

分散型エネルギー生産システム創成の意義

- 付加体の分布域にある温泉施設の掘削井からは地下水（非火山性温泉）とともに付随ガス（メタン）が湧出しているが、大気放散されている。**未利用資源の活用**が可能となる。
- コージェネレーションを用いて、温泉付随ガスのメタンを燃料として電気と熱を生産する。メタンの燃焼によって二酸化炭素は排出されるが、**温暖化対策**になる。
- 分散型エネルギー生産システムは、水・ガス・電気・熱を自家的に供給することができる。よって、地震や豪雨、大規模停電といった**災害時にライフラインを確保**することができる。



7. エネルギーをみんなにそしてクリーンに
すべての人々に手ごろで信頼でき、持続可能かつ近代的なエネルギーへのアクセスを確保する



9. 産業と技術革新の基盤をつくろう
強靱なインフラを整備し、包摂的で持続可能な産業化を推進するとともに、技術革新の拡大を図る



11. 住み続けられるまちづくりを
都市と人間の居住地を包摂的、安全、強靱かつ持続可能にする



13. 気候変動に具体的な対策を
気候変動とその影響に立ち向かうため、緊急対策を取る

社会
実装

川根温泉メタンガス利活用プロジェクト



温泉メタンガス発電施設



温泉用掘削井(深度1,148 m)



メタン分離槽



ガス貯蔵タンク



ガスエンジン発電機(25 kW x 4基)



設備監視盤

社会
実装

焼津温泉メタン都市ガス化プロジェクト



温泉メタン都市ガス化施設



掘削井(深度1,500 m)



メタン分離槽



ガス貯蔵タンク



増熱用LPガス貯蔵タンク



全自動付臭装置

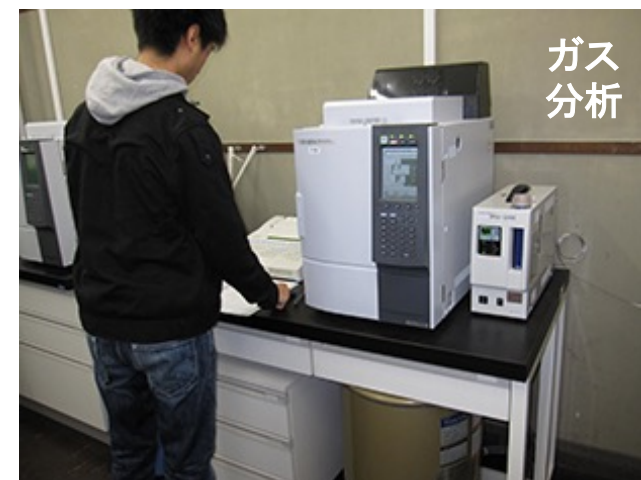


都市ガス供給管

温泉メタンを有効利用するためには・・・

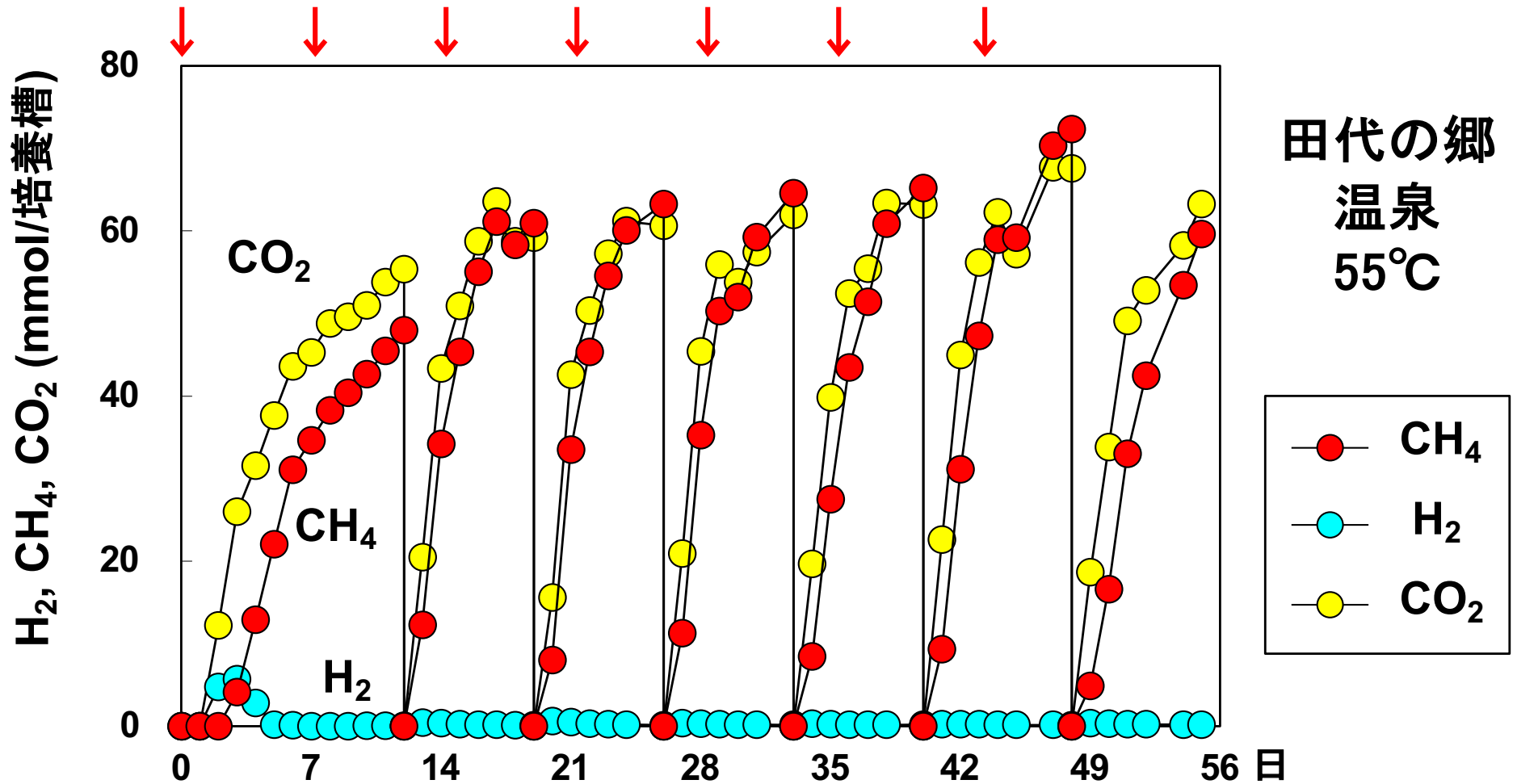
- 鉱業権（採掘権）が必要となる。
- 鉱山保安法による安全管理が必要となる。
- 自治体が所有する温泉施設が多い。
- 水溶性天然ガス用コージェネレーションは日本の市場に25 kWしかない。
- 補助金もあるが初期投資が必要となる。

メタン・水素ガス生成リアクターの開発



メタン生成リアクターの開発

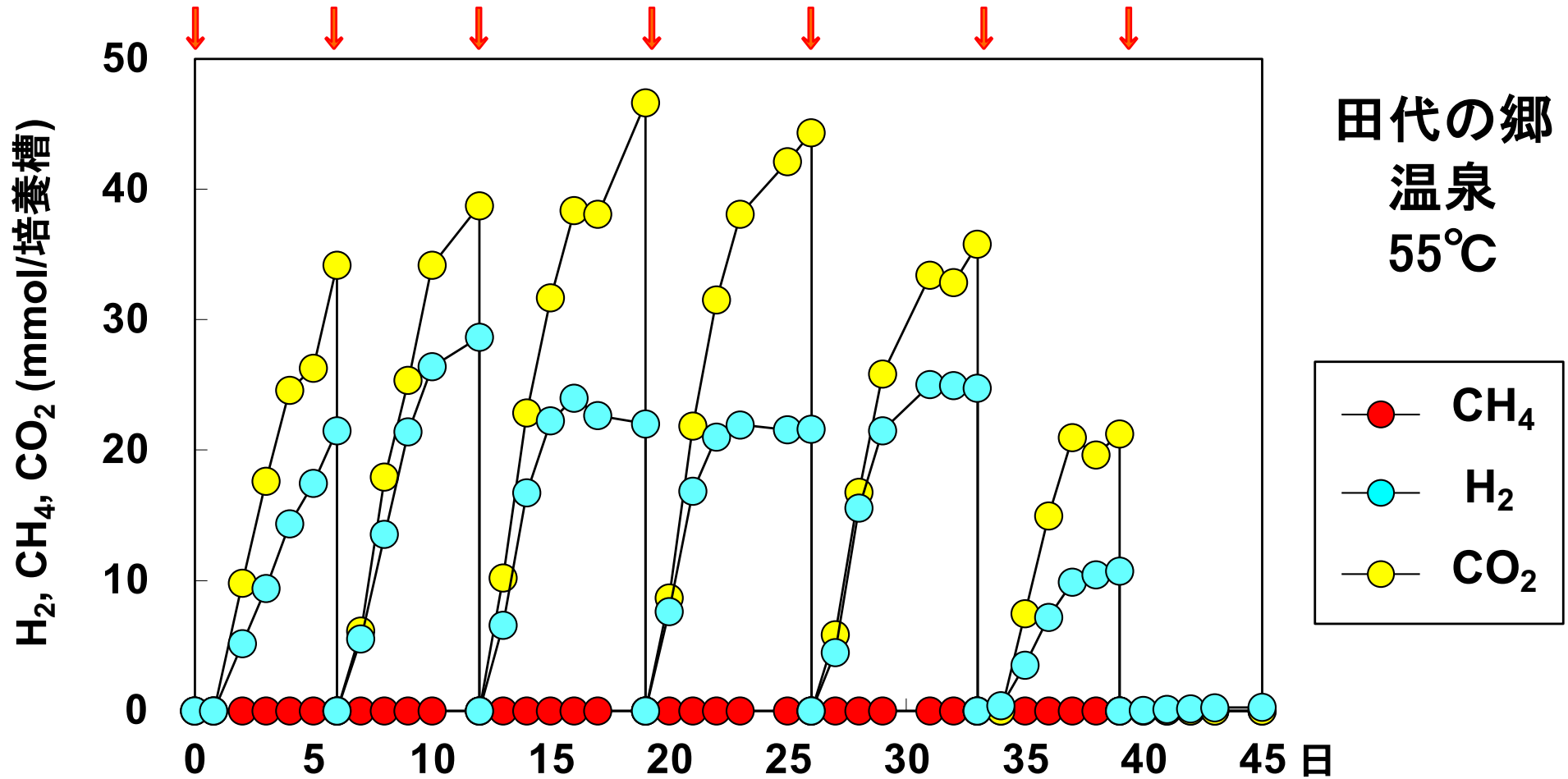
有機基質(酵母エキス+ペプトン+グルコース)の添加とN₂ガス置換



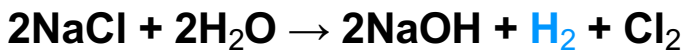
Baito, Kimura et al. (2015) *Microb. Biotechnol.* 8: 837-845.

水素ガス生成リアクターの開発

有機物 (YPG) + メタン生成菌阻害剤 (BES) の添加 と N₂ ガス置換



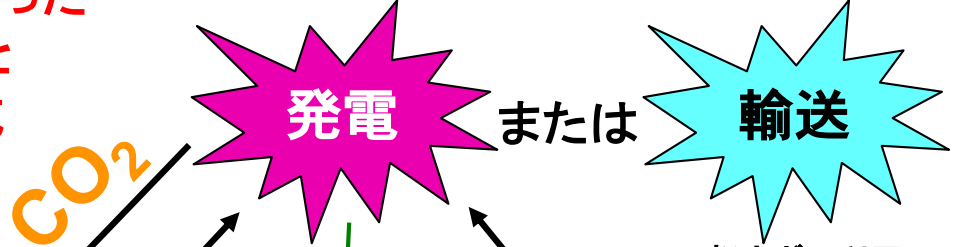
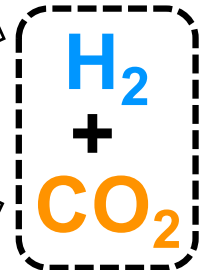
メタン生成菌を用いたバイオメタネーション



余剰水素を使った
CO₂固定と
メタン生成

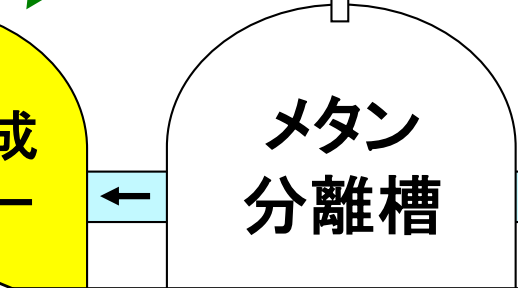
奇性ソーダ
工場など

排気ガス

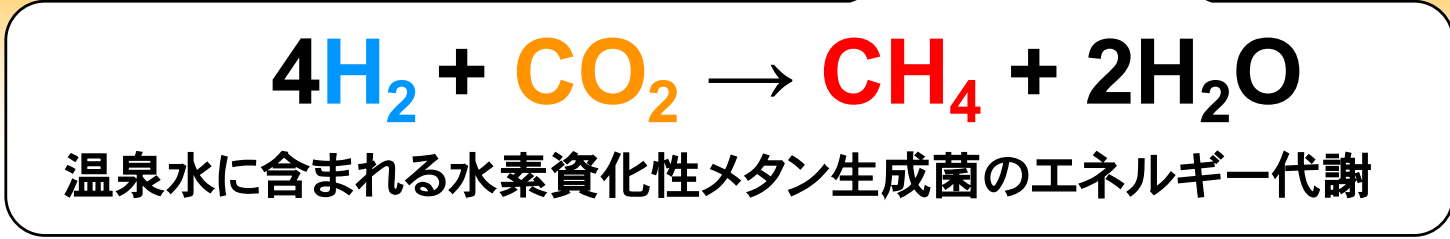


都市ガス利用

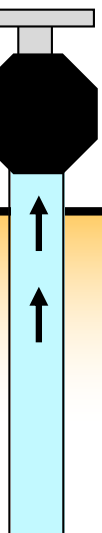
室温・常圧で
メタン生成菌を
培養する



温泉水と
付随ガス
の揚水



大深度
掘削井
(深度1,000~1,500 m)

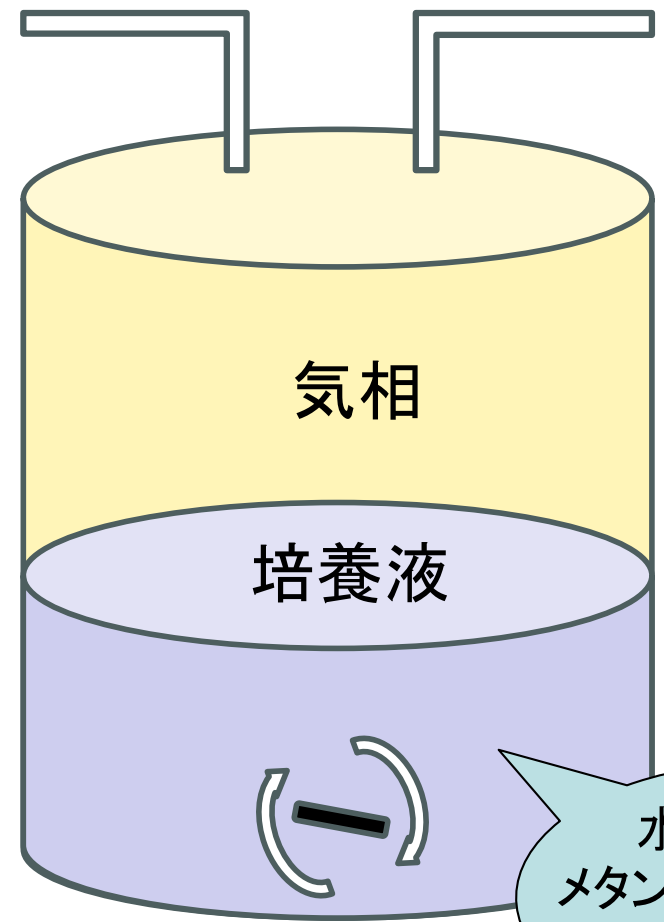


付加体の深部帯水層

メタン生成菌を用いたバイオメタネーション

H_2/CO_2
の圧入

CH_4
の回収

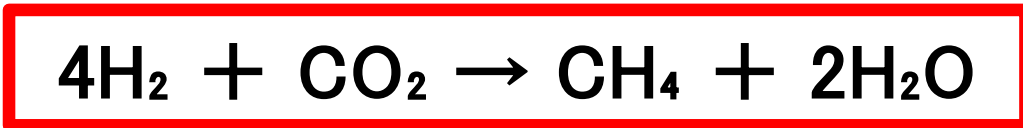


水素資化生
メタン生成菌を含む
温泉微生物群集

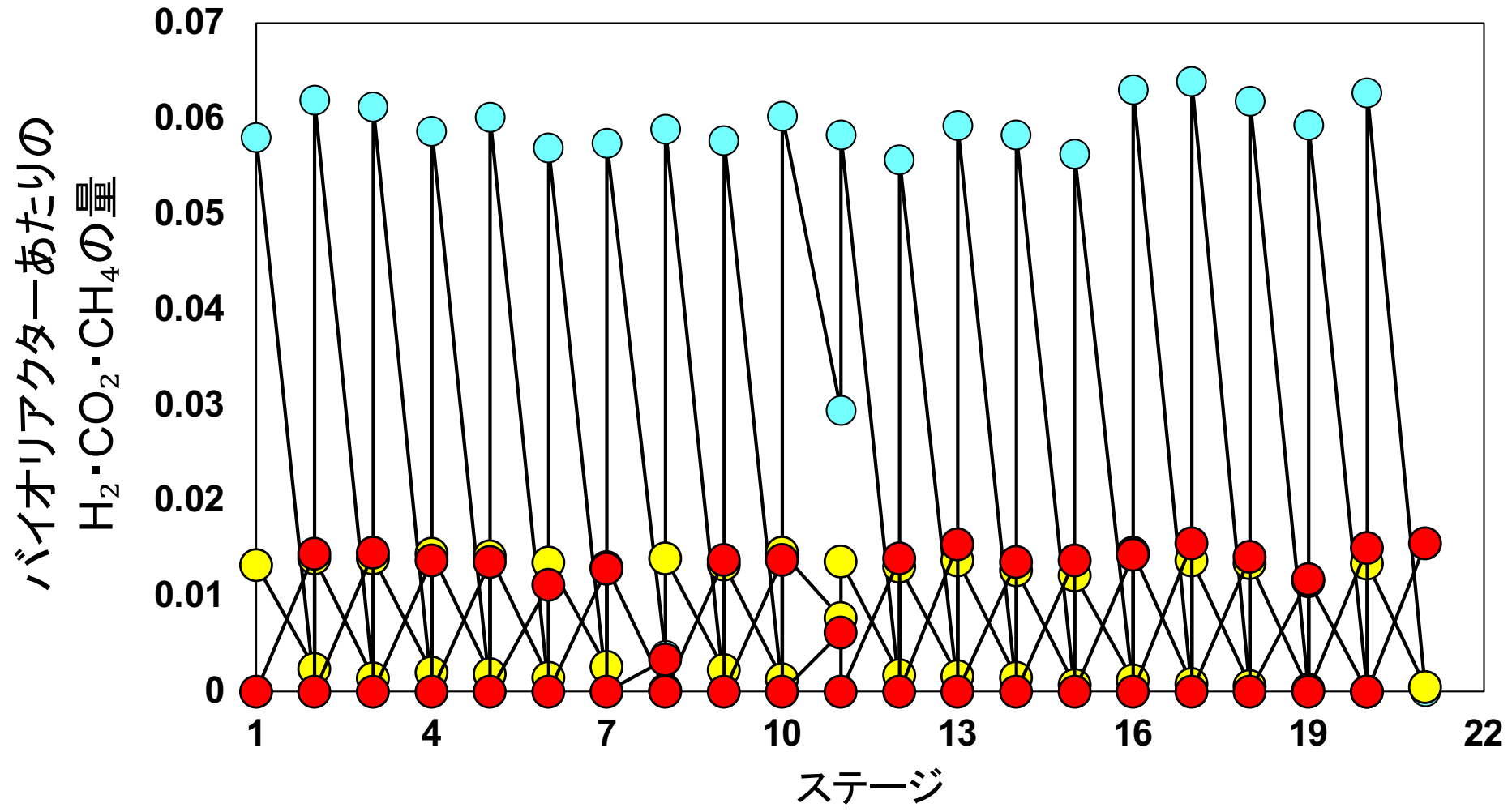


メタン生成菌を用いたバイオメタネーション

温泉微生物群集 40°C



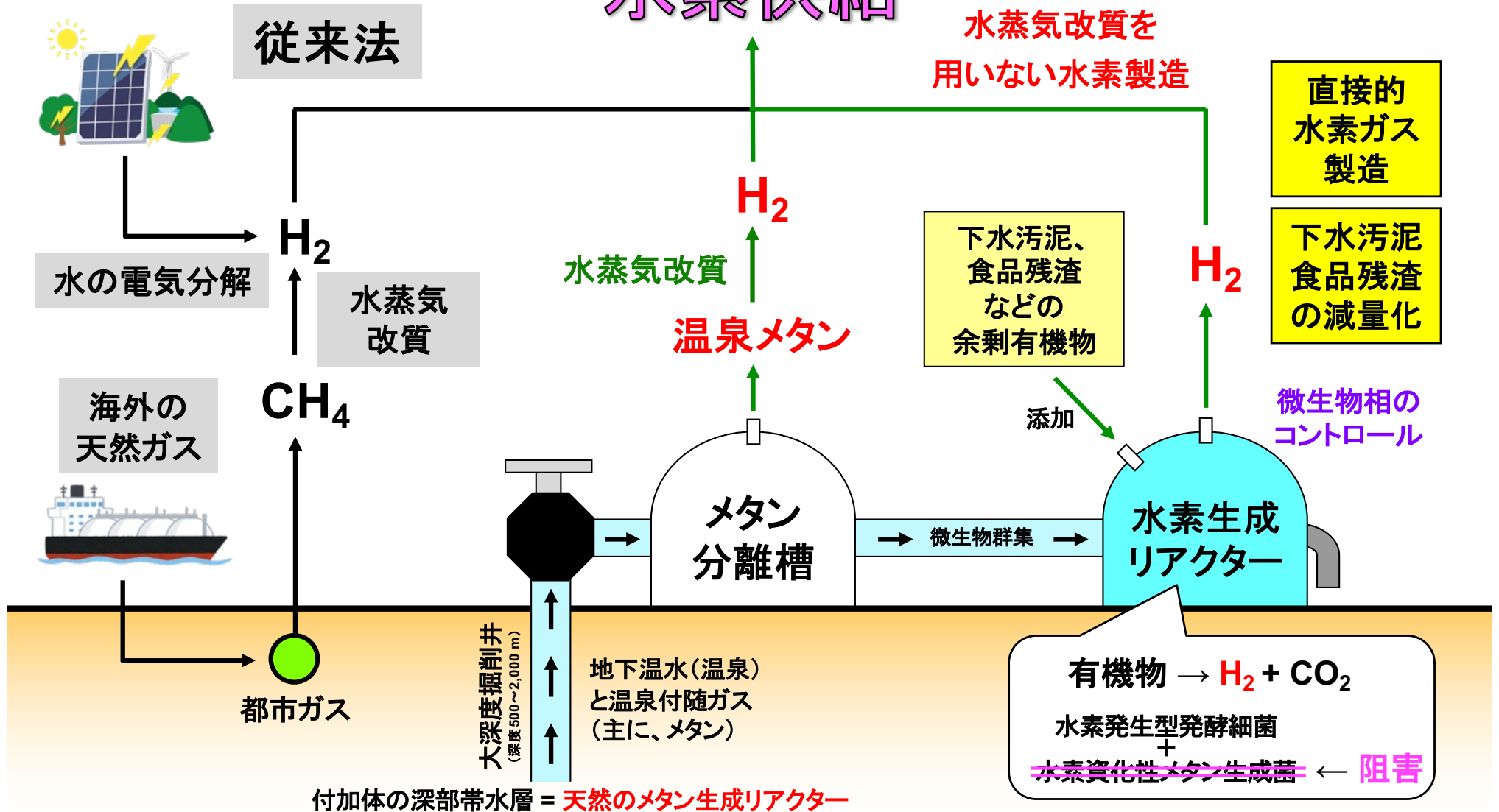
● H₂ ● CO₂ ● CH₄



将来
計画

水素社会創成への貢献

水素供給



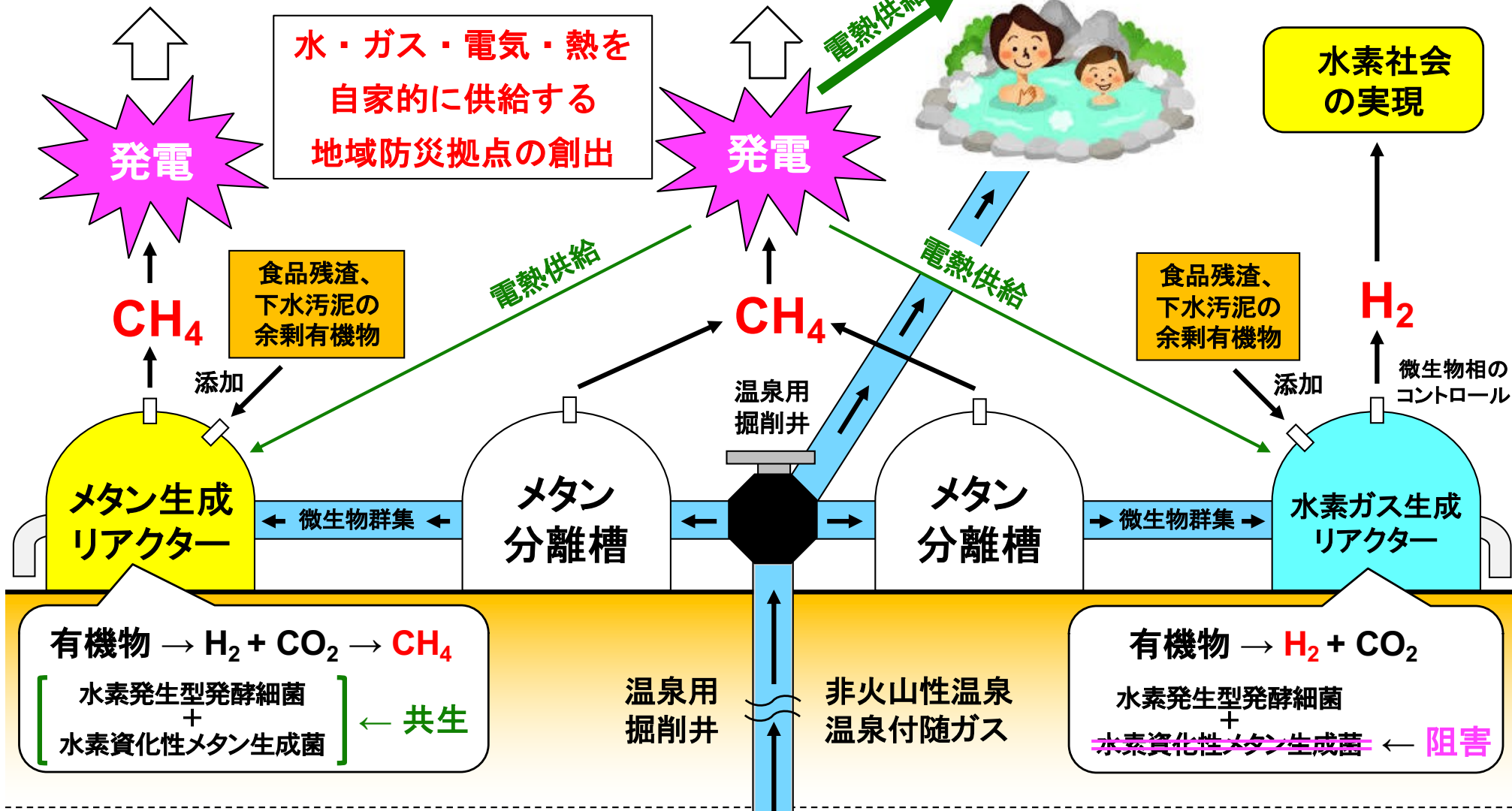
将来計画

災害時のライフライン供給

避難所(学校・温泉施設)、病院、役場など

水・ガス・電気・熱を
自家的に供給する
地域防災拠点の創出

温泉施設
(避難所の風呂)



付加体の深部帯水層 = 有機物が豊富で、高い活性をもつ微生物群集が生息する天然のメタン生成リアクター