



異なる酸素濃度下の好熱性光合成細菌群集と 地球初期光合成群集の推定

地球上で光合成が始まった頃にどんな微生物と一緒にいたかを
酸素との関係を合わせて考える。

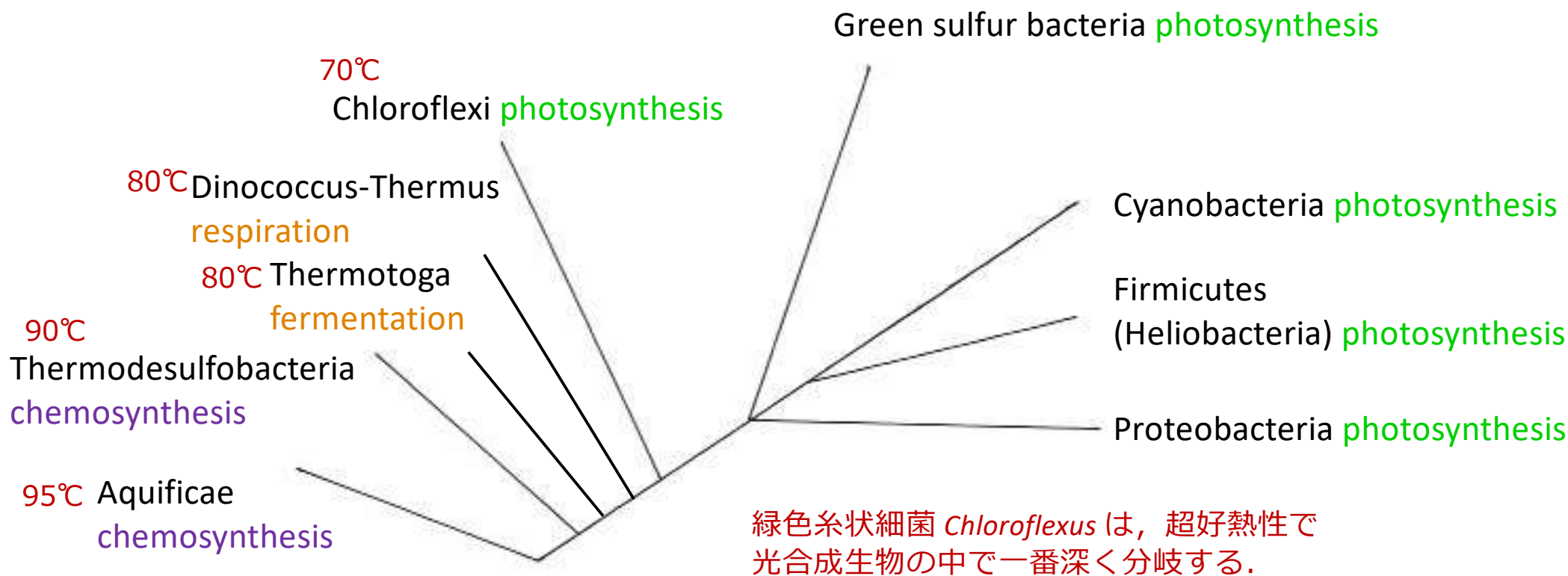
松浦 克美 ^{1), 2)}, Shawn E. McGlynn ²⁾, 河合 繁 ³⁾

1) 代謝初期進化研, 2) 東工大 ELSI, 3) JAMSTEC

背景の仮説 1 : 生命は高熱環境で誕生し, 初期生物は超好熱性だった

1. 生物成育の最高温度は122°Cで, アーキアの中で深く分岐する.
2. 細菌成育の最高温度は 95°Cで, 細菌の中で深く分岐する.

【超好熱性細菌と光合成細菌の主な門の 16S rRNA 系統樹】

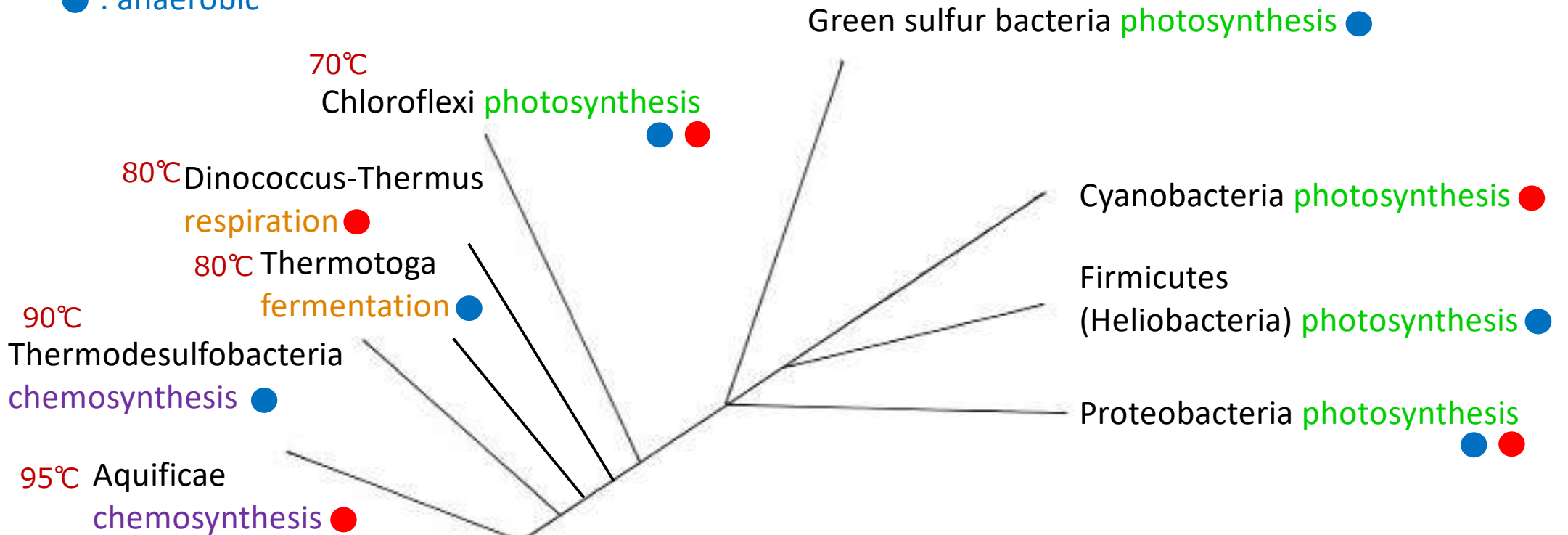


背景の仮説 2 : 緑色糸状細菌 *Chloroflexus* は, 最古の光合成生物に似ている

1. 16S rRNA の系統解析で深く分岐する
2. 超好熱性である
3. 光合成反応中心や光合成色素が比較的単純である

● : aerobic

● : anaerobic



背景の仮説 3 : 酸素呼吸は、光合成の酸素発生より古い

1. 酸素呼吸のためのシトクロム酸化酵素は、酸素発生光合成で大気中の酸素が増加する以前から存在していた。
2. 生命の共通祖先は、すでにシトクロム酸化酵素を持っていた可能性が高い。

Evolution of cytochrome oxidase, an enzyme older than atmospheric oxygen

J. Castresana, M. Lubben, M. Saraste, D.G. Higgins

EMBO Journal, 13, 2516-2525 (1994)

その後の諸研究も、基本的にこの仮説を支持している。

The multiple evolutionary histories of dioxygen reductases: Implications for the origin and evolution of aerobic respiration

C. Brochier-Armanet, E. Talla, S. Gribaldo (2009), Mol. Biol. Evol. 26, 285-297

Availability of O₂ and H₂O₂ on pre-photosynthetic earth

J. Haqq-Misra, J.F. Kasting, S. Lee (2011), Astrobiology 11, 293-302

Evolution of oxygen-utilizing enzymes suggests early biosphere oxygenation

J. Jabloriska, D.S. Tawfik (2021), Nature Ecology & Evolution 5, 442-448

本研究の大きな問い

1. 光合成が始まった当時の生物群集は、どのようなエネルギー変換を行う生物を含む生物群集だったか.

嫌気化学合成, 好気化学合成, 発酵, 嫌気呼吸, 好気呼吸

2. 光合成が始まった当時の生物群集は、どのような酸素濃度に適応した生物群集だったか.

嫌気条件, 微好気条件, 好気条件

本研究の目的

1. 中房温泉の, *Chloroflexus* が成育している微生物群集を用いて, 様々な酸素条件下での生物構成を調べる.
2. 上記 1 の結果, および背景の 3 つの仮説から, 地球初期光合成群集が, どのような酸素条件に適応していたかを推定する.

中房温泉：長野県安曇野市 硫黄泉（硫化水素型，アルカリ泉）



源泉数 30カ所以上
(すべて自然湧出)

温度 60℃～95℃

湧出量 1500 L/min 以上

pH 8.0～9.5

硫化水素イオン 200～400 $\mu\text{mol/L}$

硫酸イオン 150～300 $\mu\text{mol/L}$

炭酸水素イオン 1.5～2.5 mmol/L

中房温泉の光合成微生物群集と化学合成微生物群集

合戦の湯: 泉源86°C 水平に近い流れ

古事記の湯: 泉源80°C 垂直に近い流れ



86°C



66°C

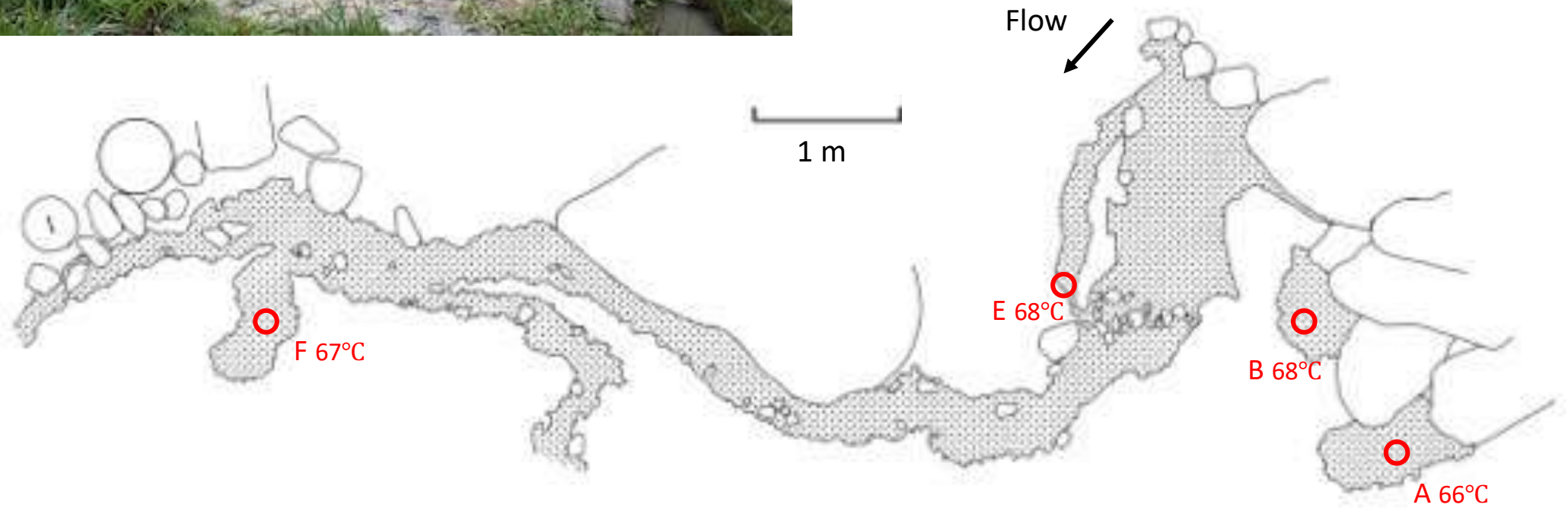


78°C

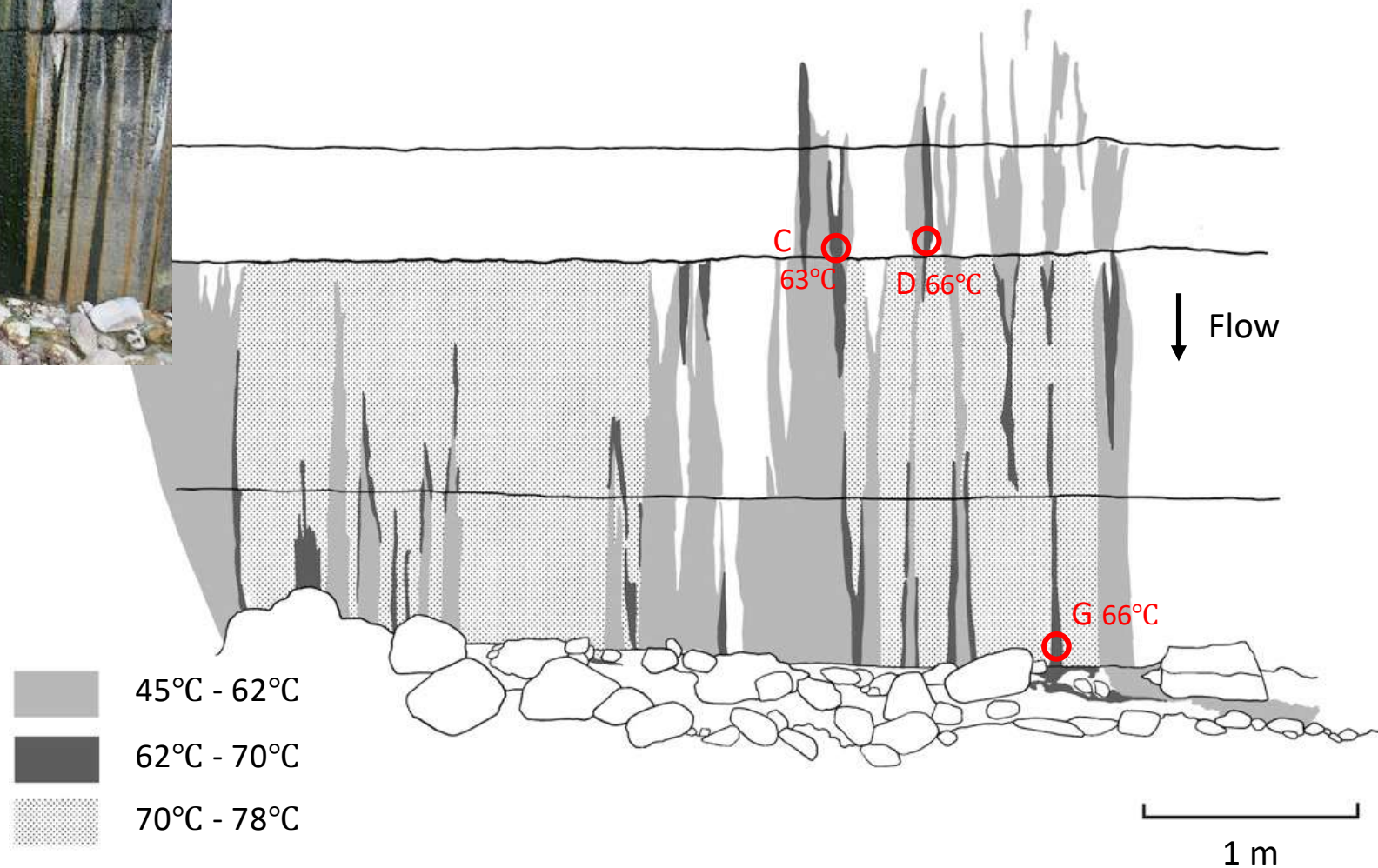


63°C

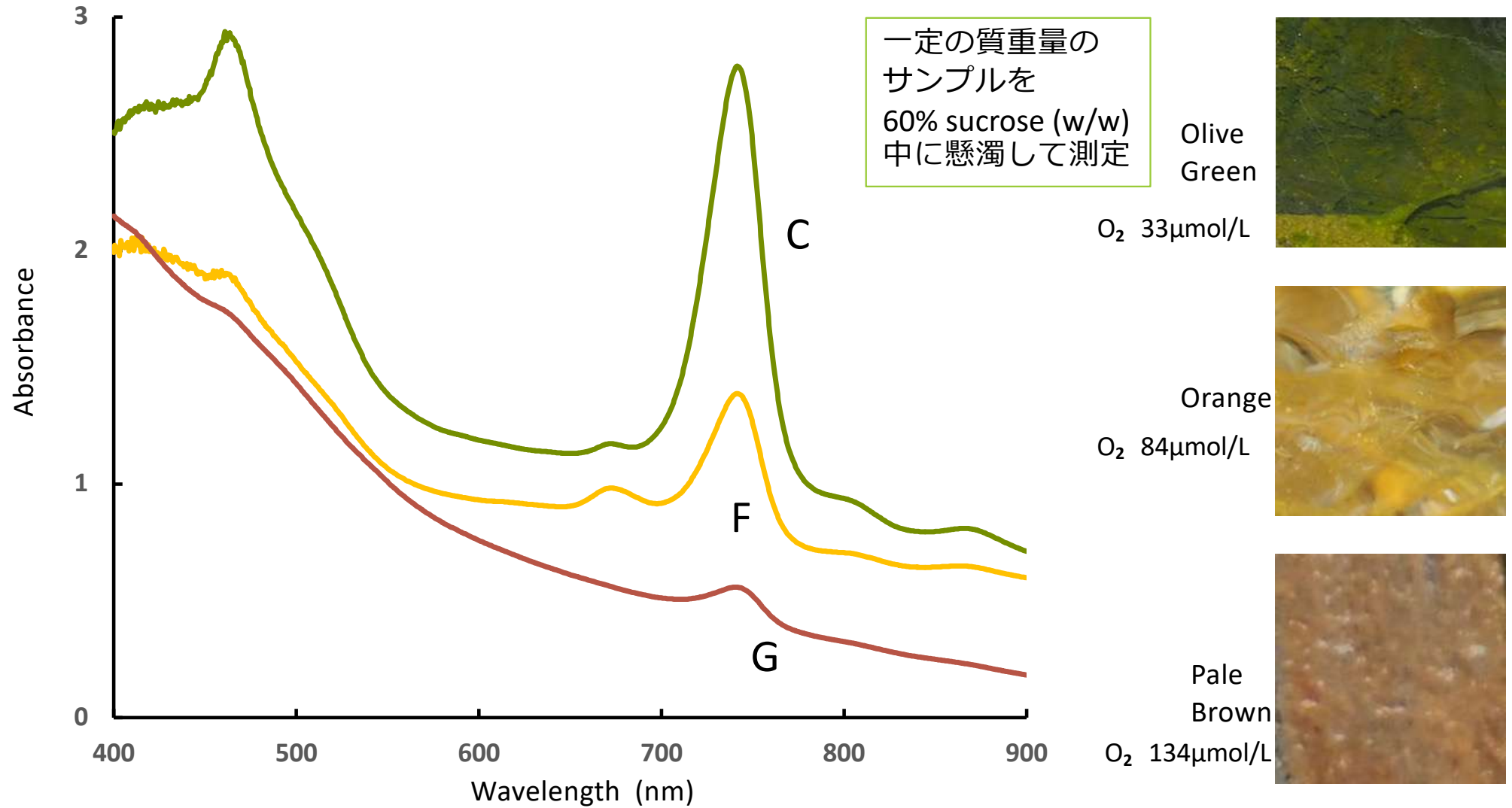
調査地 1 : 中房温泉・合戦の湯 : 川原の砂地上の流れ



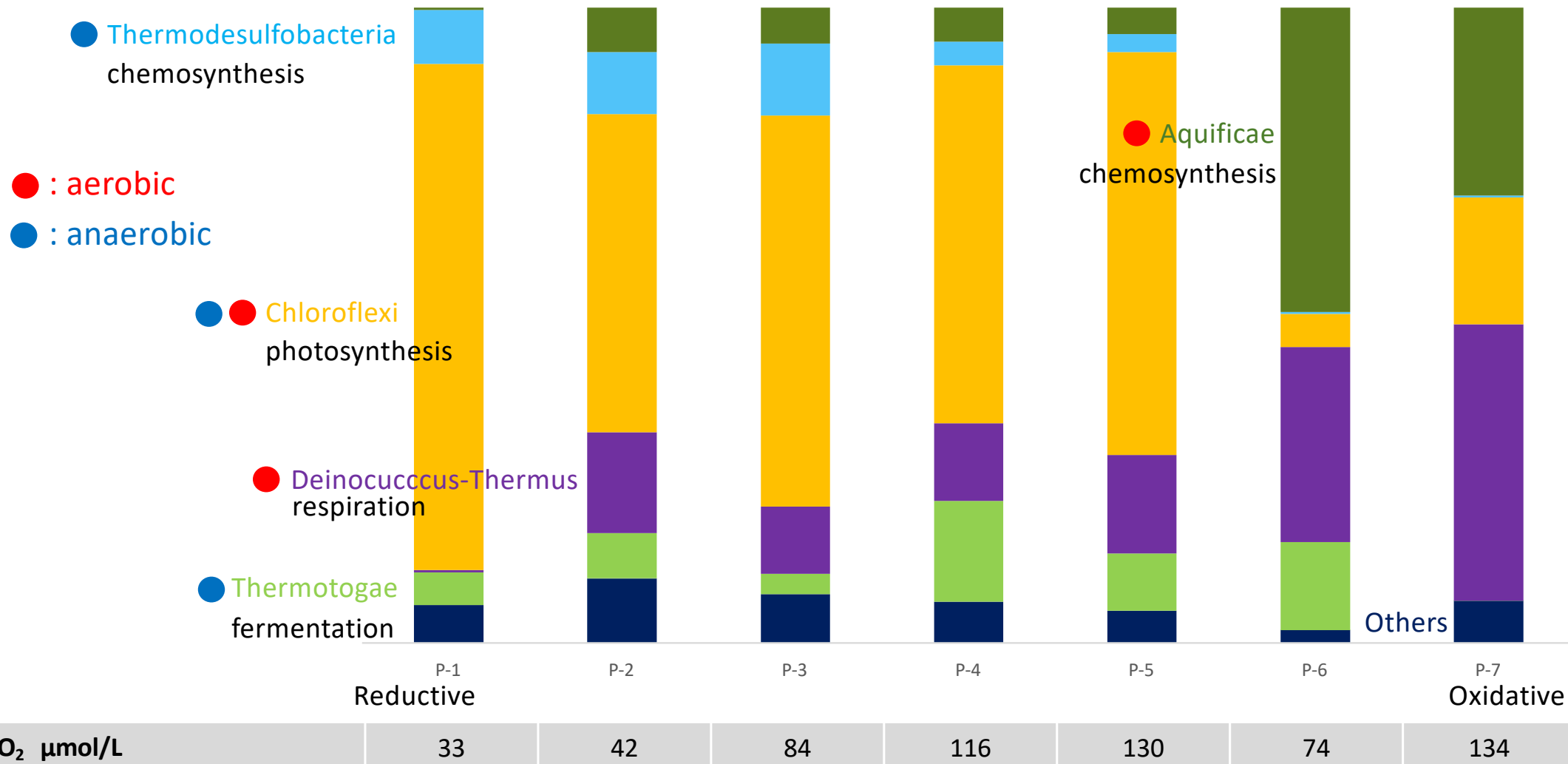
調査地 2 : 中房温泉・古事記の湯 : 砂防ダムの壁面の流れ



群集サンプル懸濁液の光合成色素の吸収スペクトル



周囲の酸素濃度の違いによる、光合成微生物群集の門レベルの構成比の違い

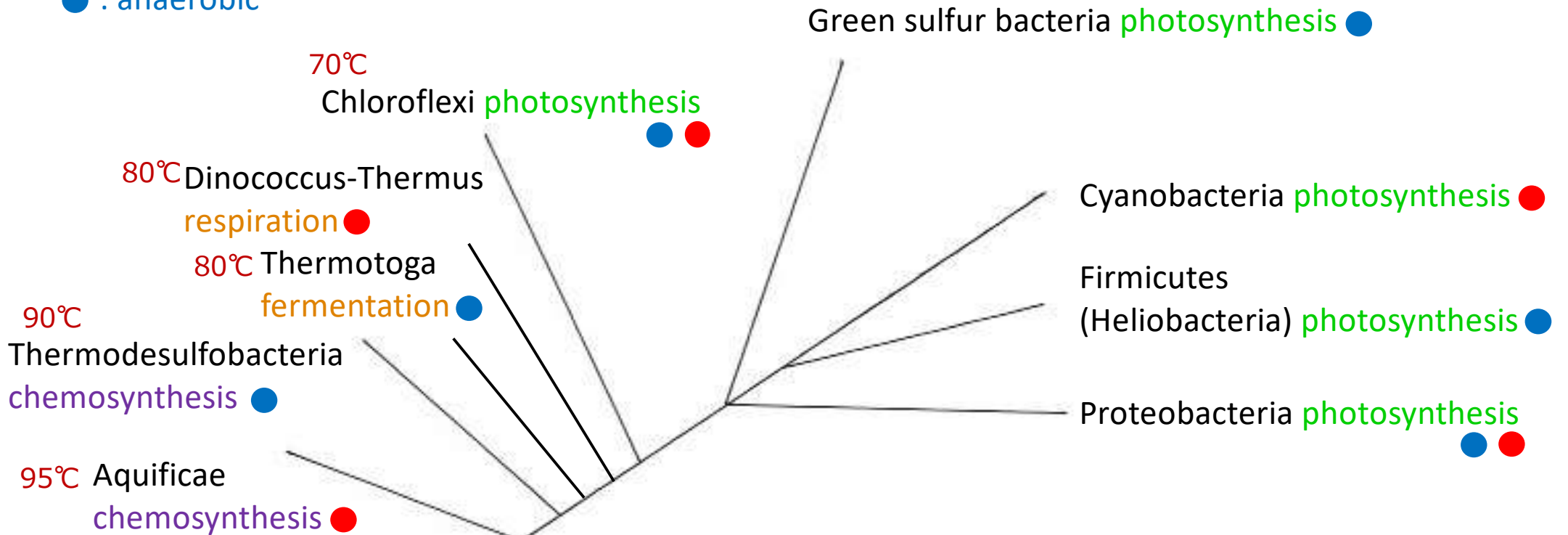


背景の仮説 2 : 緑色糸状細菌 *Chloroflexus* は, 最古の光合成生物に近い

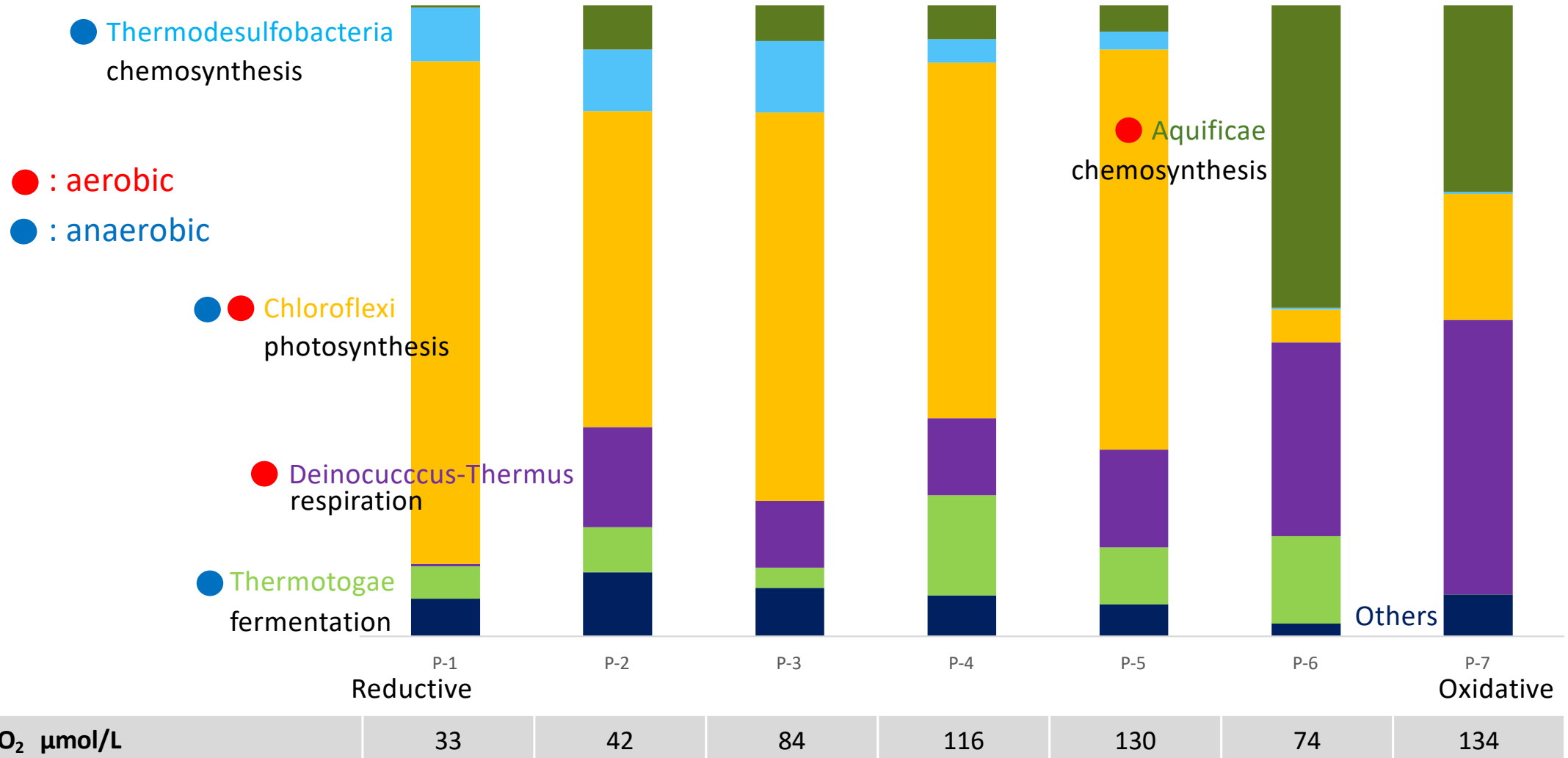
1. 16S rRNA の系統解析で深く分岐する
2. 超好熱性である
3. 光合成反応中心や光合成色素が比較的単純である

● : aerobic

● : anaerobic



周囲の酸素濃度の違いによる、光合成微生物群集の門レベルの構成比の違い



結論

1. 中房温泉の、光合成生物として *Chloroflexus* のみが成育している微生物群集では、5つの超好熱性細菌の門が主な生物で、酸素濃度に応じてその存在比は変化した。
2. *Chloroflexus* は、すべての酸素条件の群集に存在したが、嫌気条件および微好気条件で特に多く存在した。
3. 酸素発生型光合成が誕生する以前の太古代の光合成群集は、嫌氣的、微好氣的、またはその両者があった可能性が考えられた。

