

## 系外地球型惑星における大気組成と海水量の関係

### Variety in atmospheric compositions of terrestrial exoplanets: effects of surface H<sub>2</sub>O mass

洪 鵬<sup>1\*</sup>, 関根 康人<sup>1</sup>, 杉田 精司<sup>1</sup>

HONG, Peng<sup>1\*</sup>, SEKINE, Yasuhito<sup>1</sup>, SUGITA, Seiji<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学 複雑理工学専攻

<sup>1</sup>Complexity Sci. & Eng., Univ. of Tokyo

惑星形成の際、炭素質隕石や彗星等の H<sub>2</sub>O に富む材料物質の集積によって、地球型系外惑星の多くは非常に深い海を保持することが予想されている。マントルからの脱ガス気体の酸化還元度は海の深さに強く依存するため、それら "海惑星" の大気の酸化還元状態も海の深さに応じた多様性を持つ可能性がある。実際、地球では陸上火山が放出する火山ガスが酸化能的なのに対して、海底火山は還元的なガスを噴出していることが知られている (Holland, 2002)。これは、陸上火山と海底火山では、マグマの温度と圧力が大きく異なることを反映しているためである (Kump & Barley, 2007)。そこで本研究では海の深さに着目して、地球型系外惑星の大気組成の多様性を調べ、深い海が存在によって大気が還元されるかどうかを議論する。

海の深さを変化させた時の、マントルからの脱ガス気体中の CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> 比の変化を調べるため、熱水系では CH<sub>4</sub> と CO<sub>2</sub> が平衡になっていると仮定し、岩石と水の反応によって緩衝された水素分圧によって平衡条件が規定されているとした。地球の陸上火山の火山ガスは一般的に、ファイヤライト-磁鉄鉱-石英緩衝系 (FMQ) と平衡になっていると考えられており (Holland, 2002)、一方で海底熱水系のガスは磁硫鉄鉱-黄鉄鉱-磁鉄鉱緩衝系 (PPM) の平衡組成に近い (McCollom & Seewald, 2007)。そこで我々は地球型系外惑星の岩石組成が地球と似ていると仮定して、FMQ と PPM によって水素分圧が緩衝されているとして、平衡計算を行った。

また、様々な量・組成の脱ガスフラックスを注入した時の大気組成の変化を調べるため、原始地球のモデル (Pavlov et al., 2001) に基づいた、1 次元光化学モデルを構築した。モデルは H,C,N,O,S で構成される気体分子を含み、337 の反応式、69 の分子種が含まれる。計算は全て地表面気圧を 1 bar、温度 275 K の条件で行った。またモデルには、実験で得られた、大気中の C/O 比と有機物エアロゾル生成量の関係式 (Trainer et al., 2006) を用いて、有機物エアロゾル層による紫外線遮蔽効果も取り入れた。二酸化炭素分圧  $p\text{CO}_2$  は、炭素循環における化学風化率によって決まると考えられるが、海惑星における風化率には大きな不定性があるため、 $p\text{CO}_2$  は現在の値の 0.1 から 1000 倍の間で振った。

熱水系での平衡計算の結果、FMQ 緩衝系より酸化能的な PPM 緩衝系であっても、7000 bar を超えるような高圧下では脱ガス組成は極めて還元的になることがわかった。したがってもし系外惑星の岩石組成が現在の地球のような比較的酸化的な組成であっても、海の深さが 70 km を超えればマントルから脱ガスする気体中の炭素はほとんど CH<sub>4</sub> として出ることがわかった。

次に、大気中での光化学計算によって、脱ガスフラックスが現在の地球の脱ガスフラックスの数倍になると、大気組成が還元的 (CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> > 1) になることがわかった。そのような場合、大気中での CH<sub>4</sub> の重合反応によって有機物のエアロゾル層が形成される可能性がある。過去の地球の脱ガス率の変化を考慮すると (Tajika & Matsui, 1993)、深い海を持つ系外惑星ではタイタンのようなヘイズに覆われた大気が形成され、それらが今後の観測で検出される可能性がある。また、現在の地球に匹敵する脱ガスフラックスがあれば、大気中の CH<sub>4</sub> の混合比は著しく高くなることがわかった (10 - 1000 ppm)。このことは深い海を持つ系外惑星の地表温度やハビタビリティを考える際に、CH<sub>4</sub> が気候に与える放射効果を考慮しなければならないことを示唆している。

キーワード: 系外惑星, 熱水系, 光化学, 大気組成

Keywords: exoplanets, hydrothermal system, photochemistry, atmospheric composition