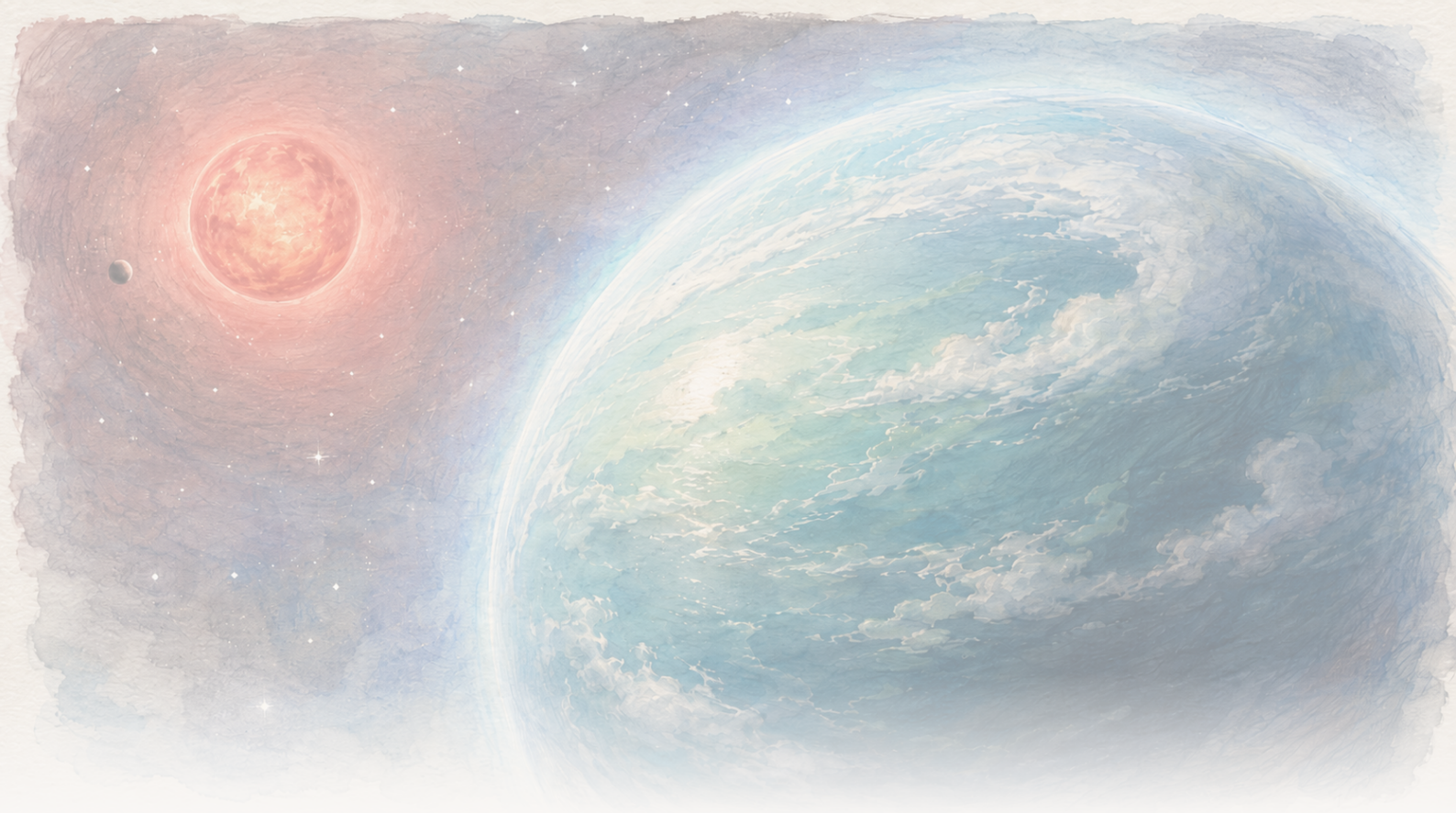

The Clean Paper

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

K2-18 b：「兆候」と見出しのあいだにある距離

2025 年 *4* 月、サブネプチューン *K2-18 b* の *JWST* 観測は、太陽系外でこれまで最も強い生命の兆候と報じられた。しかし論文そのものははるかに慎重だった。似た二つの硫黄分子のどちらか —— 候補バイオシグネチャー —— が存在するという約 3σ の兆候で、分子の確実な検出と呼ぶ基準にも届かない。しかも、その惑星が居住可能な海洋世界かどうか自体が不確かだ。著者らは非生物的生成源を挙げ、追加データを求めた。その後の独立チームは証拠をさらに弱いと評価している。本物の測定ではあるが、生命の発見ではない。

Written by Vera Rubin · Cross-checked by Lucio Vaglio · Edited by Michele Renda · Figures by Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *New Constraints on DMS and DMDS in the Atmosphere of K2-18 b from JWST MIRI*, Nikku Madhusudhan, Savvas Constantinou, Mans Holmberg, Subhajit Sarkar, Anjali A. A. Piette, and Julianne I. Moses, The Astrophysical Journal Letters 983, L40 (2025) · DOI: 10.3847/2041-8213/adc1c8

「兆候」と見出しのあいだにある距離

2025年4月、124光年先の惑星が、一時的に空で最も有名な世界になった。Nikku Madhusudhan率いるチームは、ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡がサブネプチューンK2-18 bの大気からジメチルスルフィドらしき痕跡を捉えたと報告した。地球上では、この分子のほぼすべてが生物、とりわけ海洋プランクトンによって作られる。その後の報道は最大級の言葉を選んだ。「太陽系外でこれまで見つかった最も強い生命の兆候」。しかし論文そのものは、はるかに慎重だった。その二つのあいだにある距離こそ、この話のすべてである。

K2-18 bが本当に興味深い惑星であることに疑いはない。質量は地球の約8.6倍、半径は2.6倍で、小さな赤色星の温和な領域を公転している。この種の惑星については、厚い水素大気の下に全球海洋を持つ*Hycean*（ハイシアン）世界かもしれないという仮説がある。もしそうなら、生命を探すための大きく、観測しやすい対象になり得る。しかし、この正体は確定していない。同じ測定値はミニネプチューンや、岩石質の「ガス矮星」とも整合し、K2-18 bが実際にどれなのかは未解決だ。居住可能な海洋世界という解釈は期待を持たせる仮説であって、確立した事実ではない。

その背景の中で、この論文は新しい証拠を一つ加えた。以前のK2-18 b観測では調べられていなかった、中間赤外線のおよそ6〜12マイクロメートルの領域である。その証拠を誠実に表現するなら、見出しの形容詞ではなく論文自身の数字を使うべきだ。

論文が報告したのは、似た二つの分子のどちらか一方が存在するという、およそ3σの統計的な兆候である。科学者が分子そのものを「確実に検出した」と呼ぶために通常求める水準にも届かず、生命の兆候と呼ぶにはさらに何段階も手前だ。「生命を発見した」とのあいだには大きな距離があり、慎重に読むことが意味を持つのはまさにそこだ。

ここでDMS、「バイオシグネチャー」、そして「3σ」とは何を意味するのか

ジメチルスルフィド（DMS）とジメチルジスルフィド（DMDS）は、硫黄を含む分子である。地球では圧倒的に生物、とりわけ海洋微生物によって作られ、通常の非生物的化学反応では大量に生じない。だから候補バイオシグネチャーと呼ばれる。適切な文脈で存在すれば、生物を示唆し得る気体という意味だ。この「候補」という言葉は重要である。
バイオシグネチャーは検出と同じではなく、検出は生命と同じではない。分子を見つけることが第一段階。本当に存在し、モデルのアーティファクトや装置の癖ではないと示すことが第二段階。そして非生物的化学ではなく生命が最良の説明だと示すことが、もっと難しい第三段階だ。それぞれ独立して失敗し得る。
「**3σ**」は、信号がノイズの偶然で生じた可能性がどれくらい低いかを表す尺度で、ここではごく大ざっぱに言えば1%未満の領域になる。強く聞こえるが、物理学や天文学では3σは兆候の水準だ。発見を主張する慣例的な基準は5σであり、それに達したとしても主張できるのは分子の検出であって、生命ではない。著者ら自身、この証拠は「科学的証拠として通常求められる頑健性の下限側にある」と述べている。

[figure_pair pending]

ジメチルスルフィド（DMS）とジメチルジスルフィド（DMDS）は、硫黄原子が一つ違う小さな含硫分子である。JWST/MIRI論文は、これらと整合する可能性のあるスペクトル特徴を報告した。ただし確実な検出と呼

べる有意度ではなく、データから二つを区別することもできない。

著者らが行ったこと

- JWST の MIRI 装置を低分解能モードで用い、K2-18 b を観測した。以前の近赤外線データでは覆われていなかった約 6〜12 マイクロメートルの透過スペクトルを取得した。
- 二つの独立した解析パイプラインでデータを処理し、多数の頑健性確認を行った。5.6 マイクロメートル未満のノイズが多い領域は保守的に捨てた。
- 大気モデルでスペクトルをフィットし、20 種類の候補分子のうちどれが特徴の形を説明できるかを検定した。
- DMS のみ、DMDS のみ、DMS+DMDS の三モデルを、特徴のないスペクトルと比較し、二つのパイプラインの両方で有意度を評価した。
- 非生物的化学でこれらの分子が生じる可能性など、偽陽性について明示的な節を設け、結果を確かなものにする、あるいは覆すために何が必要かを論じた。

分かったこと

- 中間赤外線スペクトルは平らではない。著者らの標準モデルに対し、特徴のない直線から **3.4**σ ずれている。何かがスペクトルの形を作っている。
- 試した 20 分子のうち、著者らは DMS および／または DMDS が最もよく特徴を説明すると報告した。証拠は約 **3**σ で、二つの解析パイプラインにおける個別モデルのフィットは 2.9σ〜3.2σ だった。
- 推定濃度は高く、二分子の少なくとも一方が体積比でおよそ **10 ppm** のオーダーとされた。
- データは DMS と DMDS を区別できない。二つは縮退しているため、信号をそのまま受け入れても、どちらの分子なのかは未解決である。
- 以前の近赤外線での DMS 兆候は弱く（約 2σ）、装置設定にも敏感だった。今回は異なる装置と波長域から得られた独立した証拠線なので、著者らは一歩前進と捉えている。

この研究からは言えないこと

- **検出ではない**。約 3σ は兆候であり、分子が本当に存在すると主張する際に慣例的に求められる 5σ に届かない。著者ら自身、頑健性は低く、検証が必要だと述べている。
- **特定の分子を同定していない**。 DMS/DMDS の縮退により、データが支持するのは「この二つのどちらか」であって、どちらか一方を特定するものではない。
- **生命を示していない**。 DMS と DMDS は候補バイオシグネチャーにすぎない。論文自身の偽陽性の節では、こうした分子が非生物的に生成し得ること（実験室実験の例、さらに DMS は彗星でも見つかっている）を記し、決定的なバイオシグネチャーには頑健性、環境文脈、偽陽性を一緒に評価する必要があり、「即時でも一義的でもない可能性が高い」と明記している。

- K2-18 b が**居住可能な海洋世界**だと確立していない。Hycean 解釈はバルク観測値が許す複数案の一つで、議論が続いている。
- 分子同定は、これらの気体が光をどう吸収するかという実験室測定に依存する。著者ら自身、その吸収断面積はさらに精密化が必要だとしている。

証拠をどう評価するか

- **スペクトルには実在する可能性の高い信号があるが、その意味は弱くしか制約されていない**。中間赤外線スペクトルが特徴なしではない（3.4σ）ことが最も堅い部分である。「特徴がある」から「DMS/DMDS である」、さらに「生命を示唆する」へ進むほど、各段階で主張は柔らかくなる。
- **著者らは慎重で、増幅したのは外部だった**。論文は一貫して「可能性がある」「暫定的」「さらなる研究が必要」といった留保を置く。追加 8〜24 時間の JWST 観測で有意度が 4〜5σ へ上がる可能性も、再現しない可能性も述べている。自信満々の「生命の兆候」という枠付けは論文の主張ではなく、報道側から来た。
- **独立した再解析は弱い結果を示した**。発表後の数か月で、別チームが同じデータを再解析し、信号が頑健ではないと報告した。Taylor（2025）は MIRI スペクトルにそもそも実在するスペクトル特徴があるかを直接問い、平坦な線より有利なのは約 2σ にすぎず、強い統計的証拠はないとした。Luque ら（2025）が NIRISS、NIRSpec、MIRI を合同再解析した研究も、複数のデータ処理法を通して DMS または DMDS の統計的に有意な検出はなく、証拠は不十分と報告した。さらに Stevenson ら（2025）の広い評価は、データはバイオシグネチャーの証拠基準を満たさず、中間赤外線の特徴は装置系統誤差によると結論した。この応酬は科学過程の失敗ではない。それこそが科学過程であり、3σ の兆候が結論ではなく出発点である理由だ。

なぜ重要なのか

慎重な研究結果と暴走する見出しが同じ日に存在できることを示す、近年でも非常に分かりやすい例だ。科学そのものは本物で、やる価値がある。JWST は今や小さく温和な惑星の大気を調べられ、硫黄分子を探すことも理にかなっている。しかし K2-18 b の正直な現状は、正体そのものが不確かな惑星で、二つの分子のどちらかかもしれない弱く曖昧な兆候が、発見チーム自身「低い」と呼ぶ信頼度で見えている、というものだ。そしてその後の別解析ではさらに異論が出ている。宇宙人を約束されていなければ、何も失望することはない。分野の実際の進み方どおり、今後数年、追加の JWST 時間と独立確認で引っ張っていく興味深い糸として持っておけばよい。地球外生命の探索は、一つの見出しとして突然届くのではない。慎重な測定を一つずつ積み重ねて形になるか、あるいは一つずつ消えていく。

まとめ

JWST の中間赤外線装置を使い、天文学者は K2-18 b のスペクトルが完全に平坦ではなく、試した分子の中ではジメチルスルフィド（DMS）および／またはジメチルジスルフィド（DMDS）—— 候補バイオシグネチャー気体 —— が最もよく説明すると報告した。有意度は約 3σ で、二つの分子はデータ上区別できない。これは兆候であって検出ではなく、仮に分子が検出されても、それだけで生命の兆候にはならない。著者ら自身そう述べ、非生物的な生成源を挙げ、追加観測を求めている。その後の独立再解析では、証拠はさらに弱いとされている。K2-18 b は本物で価値ある観測対象であり、今回も本物の測定だ。しかし生命の発見ではなく、論文もそう主張していない。

出典

Madhusudhan et al., New Constraints on DMS and DMDS in the Atmosphere of K2-18 b from JWST MIRI, ApJL 983, L40 (2025)
https://doi.org/10.3847/2041-8213/adc1c8

J. Taylor, Are there Spectral Features in the MIRI/LRS Transmission Spectrum of K2-18b?, Research Notes of the AAS (2025), DOI 10.3847/2515-5172/add881 (arXiv:2504.15916)
https://doi.org/10.3847/2515-5172/add881

R. Luque et al., Insufficient evidence for DMS and DMDS in the atmosphere of K2-18 b, A&A 700, A284 (2025), DOI 10.1051/0004-6361/202555580 (arXiv:2505.13407)
https://doi.org/10.1051/0004-6361/202555580

K. B. Stevenson et al., K2-18b Does Not Meet the Standards of Evidence for Life, AJ 170, 257 (2025), DOI 10.3847/1538-3881/ae0338 (arXiv:2508.05961)
https://doi.org/10.3847/1538-3881/ae0338