

トピックス

● 極微量の水質計測法：

水素イオン濃度 (pH) と太陽系物質科学

いまから約 100 年前、デンマークの化学者 S. セーレンセン (Søren Peter Lauritz Sørensen : 1868–1939) は、水質の酸性度を示す指標として、水素イオン濃度 (pH) の概念を導入した¹⁾。pH (ピーエイチと発音：日本工業規格による正式呼称) は、溶液中で溶媒和した水素イオンの相対活量の常用対数で示すものと定義され、環境や水質評価で重要な指標の一つである²⁾。pH 測定の方法論は、評価目的や計測上の制約に応じて、高精度なガラス電極法 (電気化学測定法) (図 1)、特殊な蛍光や吸収スペクトルを利用する光学式分光法、そして、比較的簡易な比色法 (指示薬法) などが用いられる²⁾。校正には、既知の pH 値を示す標準緩衝液を用いる。

いまから約 50 年前は、酸性雨の現象や人為起源の硫酸化物 (SO_x) や窒素酸化物 (NO_x) による環境影響評価の社会的関心が高まった時期であった。それを合理的に説明した化学指標の一つが、水循環における雨水の pH 観測値であった³⁾。現在では、全球的な海洋酸性化の評価と予測に関心が移行している³⁾。地球の水圏におけるサンプルの場合、通常の使用量は、mL (ミリリットル) スケールで扱うことが多い。ここでは、 μL (マイクロリットル) スケールといった極微量スケールの水素イオン濃度 (pH) 計測法にハイライトしてみたい。

近年の小惑星探査プロジェクトでは、炭素質小惑星リュウグウ (Ryugu) および小惑星ベヌー (Bennu) から地球帰還したサンプルを用いて、軽元素の存在度や各同位体組成、可溶性有機物の基礎記載等を行った⁵⁾⁶⁾。

これらの二つの小惑星は、太陽系の外縁部を起源とする共通性を有するが、各々異なる小惑星史の中で「水-鉱物-有機物相互作用」に起因する化学進化が起きていた事実が判明している。その可溶性有機物を対象とした初期分析では、サンプルからの水抽出液を用いて、極微量スケールの pH 計測を報告している⁷⁾⁸⁾。これらの水質の情報は、炭素質小惑星の母岩が経験した水質変成作用の最終段階の水の性状を色濃く反映していると考え



図 1 国産初ガラス電極式 pH メータの実物 (提供：HORIBA グループ)。

詳しくは、既報¹⁾を参照。(筆者撮影)。



図 2 米航空宇宙局 NASA による炭素質小惑星ベヌーからのサンプルリターンの現場の様子。

(写真・上) 探査機オシリス・レックス (OSIRIS-REx : Origins, Spectral Interpretation, Resource Identification, Security, Regolith Explorer の略称) が撮影した小惑星ベヌー (Bennu) (©NASA), (写真・中) NASA Johnson Space Center でのキュレーションの様子 (© NASA/James Blair), (写真・下) 地球帰還したサンプル (©NASA/Erika Blumenfeld & Joseph Aebersold). 詳しくは、既報⁶⁾⁸⁾¹⁰⁾を参照。

られる。

小惑星リュウグウ由来の水抽出液は、サンプリングサイト 1 で $\text{pH} = 3.95 \pm 0.01$ 、サイト 2 で $\text{pH} = 4.19 \pm 0.01$ であり、いずれも弱酸性を示した⁷⁾。一方、同一計測法で評価した小惑星ベヌーでは、弱アルカリ性 ($\text{pH} = 8.23 \pm 0.02$) を示した⁸⁾。さらに、小惑星ベヌーはアンモニアなどを含む窒素成分に富んでいた⁶⁾。弱アルカリ性の水環境は、アルデヒド類のホルモース型反応による糖類生成を促進する潜在的因子となり、分子進化および有機物の多様性に影響を与えた可能性がある⁸⁾。

ここで用いられた極微量スケール水質計測法の要素技術は、将来の探査プロジェクトへの応用⁹⁾を含め、太陽系物質科学へのさらなる応用展開を期待される方法論である。

- 1) H. Kragh : S.P.L. Sørensen : *Foundations of Chemistry*, **27**, 237 (2025). 解説は、清水 栄 : *HORIBA Technical Report*, **3**, 60 (1991).
- 2) “理化学辞典”, 第 5 版 (岩波書店) (1998); 日本分析化学会編 : “環境分析ガイドブック”, (丸善) (2011).
- 3) e.g., GE Likens, FH Bormann : *Science*, **184**, 1176 (1974).
- 4) e.g., RA Feely, et al. : *Oceanography*, **22**, 36 (2009).
- 5) H Naraoka, et al. : *Science*, **379**, eabn9033 (2023).
- 6) DP Glavin, et al. : *Nature Astron.*, **9**, 199 (2025).
- 7) T Yoshimura, et al. : *Nature Commun.*, **14**, 5284 (2023).
- 8) Y Furukawa, et al. : *Nature Geosci.*, **19**, 19 (2026).
- 9) Y Oba, et al. : *Nature Commun.*, **14**, 3107 (2023).
- 10) DS Lauretta, et al. : *Meteorit & Planet Sci.*, **59**, 2453 (2024).

[海洋研究開発機構 高野 淑識]