ぶんせき　2022年 第9号(通巻第573号)　令和4年9月5日発行(毎月1回5日発行)　ISSN 0386-2178

ぶんせき⑨

Bunseki 2022

The Japan Society for Analytical Chemistry

2022年3号から電子版に移行しました(団体会員除く)
詳細は2021年第7号挟み込み頁および
ぶんせきホームページをご確認ください

日本分析化学会
https://www.jsac.jp

貴金属がもたらす ゆとりある豊かな社会の実現へ

近代から現代に至るまで、
産業の発達を根底から支え続ける貴金属。
これからも新しい領域を拓いていきます。
あなたのチャレンジをサポートします。

募集 2022年度 貴金属に関わる研究助成金

貴金属が関係しているテーマであれば応募可能

助成金は奨学寄附金扱いになります

研究や成果を拘束することはありません

募集要項

田中貴金属記念財団では、「貴金属が拓く新しい世界」に向けて、貴金属が貢献する新しい技術や製品の実用化に向けた研究・開発テーマを募集いたします。

応募資格　国内の教育機関あるいは公的研究機関に所属されている方

募集期間　2022年9月1日(木)～2022年11月30日(水)

研究助成金
- プラチナ賞　500万円（1件）
- ゴールド賞　200万円（1件）
- シルバー賞　100万円（4件）
- 萌芽賞※　100万円（2件）
- 奨励賞　30万円（複数件）

※2022年4月1日現在で37歳以下の方が対象となります。

主催者　一般財団法人　田中貴金属記念財団

お問い合せ先　「貴金属に関わる研究助成金」事務局
E-mail:joseikin@ml.tanaka.co.jp
〒100-6422
東京都千代田区丸の内2-7-3
東京ビルディング 22階
田中貴金属工業株式会社
新事業開発統括部　企画推進S　内

田中貴金属記念財団　詳細はこちら▶ https://tanaka-foundation.or.jp

SHIMADZU
Excellence in Science

フーリエ変換赤外分光光度計

Fourier Transform Infrared Spectrophotometer

IRXross

IR, Xross over

Performance × Operability

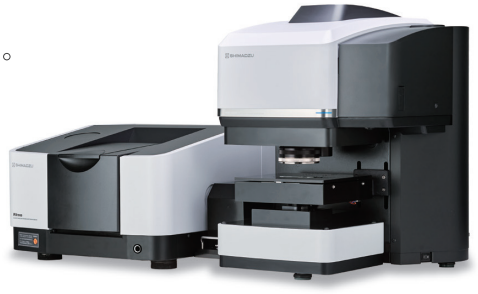
ANALYTICAL INTELLIGENCE

IRXrossは、新たな赤外分光分析の概念を創造します。
多様な用途が求められる新しい時代に、最適なソリューションを。

様々なニーズを満たす卓越した性能

簡単操作と解析を実現する独自機能

安心の規制対応



赤外顕微鏡システム

株式会社 島津製作所　分析計測事業部

IRXrossの特長や動画をWebでご紹介

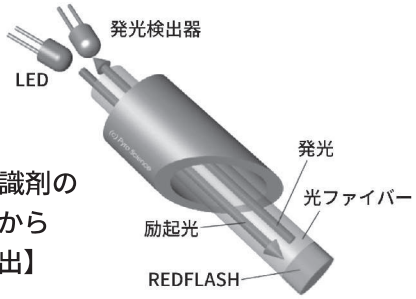
BAS 光学式酸素モニターシステム

基本機能の光学式酸素モニタリングに加えて、
温度およびpH(一部機種のみ)の同時測定が可能

BAS FireSting

- 一台で最大4チャンネル対応。項目の組合せは自由
- 気相および液相での測定に利用できます
- 酸素濃度測定は広い濃度範囲で対応可能
- 非接触型など様々なタイプのセンサーをラインナップ

FireSting O2-C 酸素モニター(4ch)



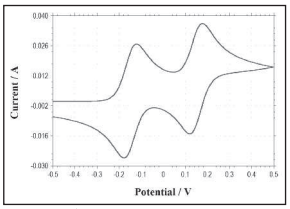
【REDFLASH標識剤の
発光寿命検出から
酸素濃度を算出】

【センサー付きバイアル
内部の酸素濃度を外側
から測定可能】

分光電気化学測定

BAS SEC2020

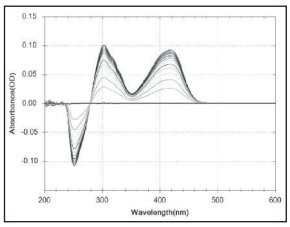
CV測定



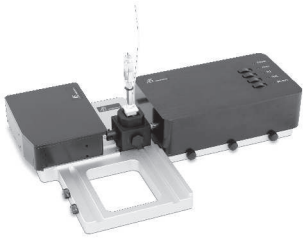
※測定データはイメージです。

＋

吸光度測定



ALS600Eシリーズ



SEC2020スペクトロメーターシステム

分光電気化学測定とは「分光法」と
「電気化学的手法」を組み合わせた測定方法です。

同時に測定を行うことで、より正確な
実験データが得られます。

測定装置からセルなどの消耗品まで、
すべてBASの開発品のため
初めてのお客様でも簡単に測定が行えます。

● 製品の外観、仕様は改良のため予告なく変更される場合があります。

予算申請などですぐ見積書が必要なときに!

インターネット環境があれば いつでもご自身でご確認いただける

WEB見積書サービスが便利です!!

BAS ビー・エー・エス株式会社

本社　〒131-0033 東京都墨田区向島 1-28-12
東京営業所　TEL: 03-3624-0331 FAX: 03-3624-3387
大阪営業所　TEL: 06-6308-1867 FAX: 06-6308-6890

実験用途に適したサンプリングアクセサリーも豊富にラインアップしています。
詳しくはホームページまで！！

BAS　光ファイバー

製品情報・技術情報などBASの最新情報はメールニュースで
随時配信しております。配信ご希望の方はお気軽にお問合せ下さい ⇒ E-mail: sp2@bas.co.jp

標準物質の取り扱い専門商社

～各種標準物質　取り扱っております～

各種標準物質（RM, CRM）

ICP-OES/ICP-MS AAS/IC	固体発光分光分析 蛍光X線／ガス分析	物理特性／熱特性	有機標準物質
・無機標準液／オイル標準液 ・鉄・非鉄各種金属 ・工業製品 （石炭、セメント、セラミックス等） ・環境物質 （土壌、水、堆積物、岩石等） ・乳製品、魚肉、穀物等	・鉄・非鉄各種金属 ・工業製品 （石炭、セメント、セラミックス等） ・環境物質 （土壌、水、堆積物、岩石等） ・（乳製品、魚肉、穀物等）	・X線回折装置用 Si powder, Si nitride,等 ・粒度分布計用 ・熱分析用 DSC（In,Pb,等） ・粘度測定用 ・膜厚分析用	・製薬標準物質 SPEX,LGC,EP,USP, TRC,MOLCAN ・認証有機標準液 ・ダイオキシン類／PCB ・有機元素計用標準

・核燃料関連（ウラン、トリウム、プルトニウム）・環境中放射能標準物質などもございます。
お探しの標準物質ございましたら、お問い合わせください。

SPEX社 前処理機（フリーザーミル・ボールミル）

凍結粉砕機（Freezer／Mill）

粉砕容器にインパクター（粉砕棒）とサンプルを一緒に入れ、液体窒素にてサンプルを常時凍結させて運転を開始します。
インパクターを磁化させ、往復運動させる事による衝撃でサンプルを粉砕します。
やわらかいサンプルや熱に弱い生体サンプルに最適です。

〈サンプル例〉プラスチック、ゴム、生体サンプルなど、
〈使用例〉ICP, XRF, GC, LCの前処理　DNA/RNAの抽出の前処理

ボールミル（Mixer／Mill）

SPEX独自の８の字運動により、効率的な粉砕、混合が可能。
サンプルに合った粉砕容器、ボールを選択可能。

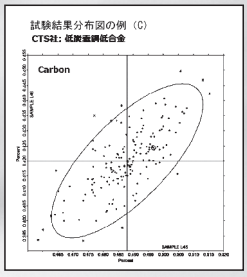
〈サンプル例〉岩石、植物、錠剤、合金など
〈使用例〉ICP, XRFの前処理　メカニカルアロイイング

海外技能試験輸入代行サービス

技能試験とは・・・

技能試験提供機関が提供する未知サンプルを分析することによって、分析者の分析技能を測るテストです。
分析能力に関して中立的な評価が得られ、国内外の参加試験所と分析能力の比較が出来ます。
国内では毒物劇物取締法など特殊な法令に沿った通関手続きが必要でございます。
当社はコンプライアンスを遵守し、ノウハウを活かし、輸入の代行を致します。

〈サンプル例〉
金属材料中元素分析、フタル酸エステル類、物性試験（引張・曲げ・硬さ）
ニッケル溶出試験、医薬品、化粧品、環境分野、オイル、食品、玩具規制専用試験など



YouTubeチャンネル【西進商事公式】　弊社取り扱い製品の情報を公開中です。（順次アップロード予定）

西進商事は日本分析化学会の販売総代理店です

SEISHIN
標準物質専門商社
西進商事株式会社
https://www.seishin-syoji.co.jp/

本　　社　〒650-0047　神戸市中央区港島南町１丁目４番地４号
TEL.(078)303-3810　FAX.(078)303-3822
東京支店　〒105-0012　東京都港区芝大門2丁目12番地7号（RBM芝パークビル）
TEL.(03)3459-7491　FAX.(03)3459-7499
名古屋営業所　〒450-0003　名古屋市中村区名駅南1丁目24番地30（名古屋三井ビル本館）
TEL.(052)586-4741　FAX.(052)586-4796
北海道営業所　〒060-0002　札幌市中央区北二条西１丁目10番地（ピア2・1ビル）
TEL.(011)221-2171　FAX.(011)221-2010

908devices

ESIイオン源一体型
マイクロチップ・キャピラリ電気泳動装置

ZipChip™

お使いのMSが高速分析装置になります！

ZipChip™プラットフォームは、キャピラリ電気泳動（CE）とエレクトロスプレーイオン化（ESI）を一つのマイクロ流体チップに統合し質量分析計にスプレーするシステムです。

広範囲の生体試料の調整、分離、イオン化を迅速に行い試料を質量分析計へ直接導入可能です。

CE/ESIチップはユニット内にクリップで装着するだけです。
分析時間は通常3分程度で完了し、ほとんどのLCよりも短時間でより良い分離品質を得ることができます。

シンプルなワークフローと複数のキットオプションにより、多数のバイオセラピー、メタボローム、およびプロテオミクスのアプリケーションをサポートします。

ZipChip™の特徴

- **迅速な分析時間（ほとんどの分析時間は2〜3分）**
- **高感度・高安定のナノレベルスプレー**
- **少ない試料消費（ピコグラム〜ナノグラム）**
- **オンラインの脱塩により、サンプル調整が最小限**

アプリ別に便利な分析キットが用意されています。

- ペプチド用　●インタクトタンパク質用
- ネイティブタンパク質用
- 代謝物（アミノ酸）用　●オリゴ核酸用

下記メーカーの質量分析計でご使用いただけます。

- ThermoFisher Scientific社
- Bruker社　●SCIEX社

（対応モデル名・型式につきましては別途ご照会ください。）

S.T.JAPAN INC.

輸入総販売元
株式会社 エス・ティ・ジャパン
http://www.stjapan.co.jp

東京本社／
〒103-0014 東京都中央区日本橋蛎殻町1-14-10
TEL: 03-3666-2561　FAX: 03-3666-2658

大阪支店／
〒573-0094 大阪府枚方市南中振1-16-27
TEL: 072-835-1881　FAX: 072-835-1880

標　準　物　質

標準物質とは

分析機器の校正、性能向上
分析技術の進歩、確立
分析対象物の値づけ

に用いられます。

より正確な分析データを求めるには、高い信頼性のある標準物質を御使用下さい。

標準物質は以下の分野に数多くあります。

・環境、生体、食物	・ガラス、セラミックス	・粘度、密度
・石炭、石油(燃料)	・有機、無機分析	・比表面積、粒径
・残留農薬	・薬局方試料、臨床化学	・Ｘ線分析各種
・金属、鉱石、鉱物	・抗血清	・放射能、核物質
・ガス分析	・高分子(ポリマー)	・光学分析各種
・安定同位体	・熱分析各種	・度量衡

☆世界の代表的な標準物質製造・作成者一覧☆

NIST(NBS)／NATIONAL INSTITUTE OF STD. & TEC. ……標準物質一般
LGC／LABORATORY OF THE GOVERMENT CHEMIST. ……標準物質一般
BCR／COMMUNITY BUREAU OF REFERENCE ……標準物質一般
BAS／BUREAU OF ANALYSED SAMPLES LTD ……金属
SP²／SCIENTIFIC POLYMER PRODUCTS INC. ……ポリマー
PL／POLYMER LABORATORIES LTD. ……ポリマー
μM／MICRO MATTER CO. ……けい光Ｘ線用薄膜
IAEA／INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY ……生体・環境
NANOGEN／NANOGENS INTERNATIONAL ……農薬(溶液、原体)
CANMET／CANADA CENTRE FOR MINERAL & ENERGY TEC. ……鉱石・鉱物
NRCC／NATIONAL RESEARCH COUNCIL CANADA ……水質環境用標準物質
ONL／OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY ……安定同位体
KENT／KENT LABORATORYS ……抗血清
DSC／DUKE SCIENTIFIC CORPORATION ……球型、表面積
EP／EUROPEAN PHARMACOPOEIA ……医薬品
USP／U.S.P. REFERENCE STANDARDS ……医薬品
BP／BRITISH PHARMACOPOEIA ……医薬品
NIES／国立環境研究所 ……環境・生体

ここに記載されている他にも、多数の標準物質を取り扱っております。
カタログ及び資料希望、お問い合わせについては下記へご連絡下さい。

GSC 株式会社　ゼネラル サイエンス コーポレーション

〒170-0005　東京都豊島区南大塚3丁目11番地8号　TEL.03-5927-8356 (代)　FAX.03-5927-8357
ホームページアドレス http://www.shibayama.co.jp　e-mail アドレス gsc@shibayama.co.jp

JASCO

リサーチグレードでありながら、ダウンサイジングを追求

Debut

FT/IR-4Xは、高い拡張性とS/N 比・分解能を保持したまま、従来比40 %のサイズ ダウンを実現したリサーチグレードの赤外分光光度計です。大型機同等の 20 cm 幅の試料室は、サードパーティ製を含む各種大型付属品を使用 することが可能で、赤外顕微鏡接続、検出器拡張、近中赤外・中遠赤外への波数拡張にも対応可能です。モノコック構造の干渉計は高い密閉性と堅牢性を誇り、NISTトレーサブルフィル ムによる自動バリデーション機構内蔵により、永きに渡る信頼性を担保いたします。

Fourier Transform Infrared Spectrometer

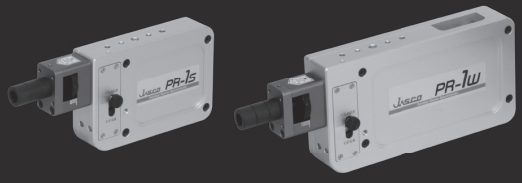
フーリエ変換赤外分光光度計

FT/IR-4X

New

ラマン測定を、手の中に。

PR-1s/PR-1w は、手のひらに収まる超小型ラマン分光光度計です。測定波数範囲とレーザー出力の異なる２つのモデルをラインアップしています。測定対象の自由度が高く、専用試料室やバイアルホルダーも用意しており、シンプルで手軽なラマン測定を実現します。



Palmtop Raman Spectrometer

パームトップラマン分光光度計

PR-1s/PR-1w

光と技術で未来を見つめる

日本分光

日本分光株式会社

〒192-8537　東京都八王子市石川町2967-5
TEL 042(646)4111(代)
FAX 042(646)4120

日本分光の最新情報はこちらから

https://www.jasco.co.jp

日本分光HP

JASCO

JASCO は日本分光株式会社の登録商標です。
本広告に記載されている装置の外観および各仕様は、改善のため予告なく変更することがあります。

FRONTIER LAB　パワフル粉砕とシンプル操作の卓上可搬型

NEW

迅速凍結粉砕装置 IQ MILL-2070

機器分析の試料前処理に最適 ~ 各種試料の粉砕・攪拌・分散に特化 ~

IQ MILL-2070 の特長

● 使いやすいシンプル操作

✓ **簡単な操作でサンプルの粉砕が可能**

設定項目は、粉砕速度、粉砕時間、サイクル数、待ち時間のみです。回転ノブとタッチパネルで簡単に設定が可能です。

● 短時間で効率的な粉砕

✓ **同一プログラムで最大3サンプルの同時粉砕が可能**

最大3本の試料容器が収納可能なホルダーを搭載しており、より効率的な粉砕が可能です。

✓ **パワフルな衝撃と剪断の粉砕力で 粉砕時間を大幅短縮**

高弾性ベルトを用いた高速立体8の字運動による粉砕方式*を採用しており、短時間での試料粉砕が可能です。

*特許第7064786号

● 液体窒素での予冷方式

✓ **粉砕前に冷媒（液体窒素等）を用いて試料容器を予冷**

液体窒素の最小消費量は300 mL程度と省エネです。製品には予冷用キットが付属します。

✓ **冷媒を使わずに室温でも粉砕可能**

迅速粉砕凍結装置
IQ MILL-2070

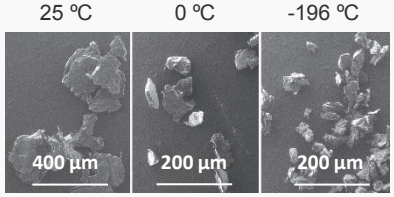
主な仕様

粉砕温度	室温あるいは冷媒（液体窒素等）を用いる試料冷却	
粉砕設定	回転数（rpm）	50 から 最大 3000（無段階設定）
	回転時間（sec）	10 から 60（10 sec毎）
	回転サイクル間の待ち時間（sec）	10 から 600（10 sec毎）
	回転サイクル数	1 から 10（1サイクル毎）
安全装置	2つのマイクロスイッチと手動ロックの組合せ	
本体寸法、重量	幅 270 x 奥行 340 x 高さ 300（mm）、約 12 kg	
電源（50/60 Hz）	AC 100/120 V あるいは 200/240 V（450 VA）	

ポリスチレン（20 ペレット, 約 500 mg）

2000 rpm x 60 sec x 1 サイクル

前処理温度



粉砕温度 25 ℃

フロンティア・ラボ 株式会社
ご導入検討時にテスト粉砕を承ります。お気軽にお問い合わせください。
www.frontier-lab.com/jp　info@frontier-lab.com

高性能の熱分解装置と金属キャピラリーカラムの開発・製品化に専念して、洗練された製品をお届けしています

ぶんせき９月号　掲載会社　索引

【ア行】
㈱アメナテック……A5
㈱エス・ティ・ジャパン……A1
【サ行】
㈱島津製作所…… 表紙２
西進商事㈱…… カレンダー裏
㈱ゼネラルサイエンス
コーポレーション……A2
【タ行】
田中貴金属工業㈱…… 表紙４
【ナ行】
日本分光㈱……A3
【ハ行】
ビー・エー・エス㈱…… 表紙３
㈱日立ハイテクサイエンス……A8
フロンティア・ラボ㈱……A4

製品紹介ガイド……A6～7

AmenaTech

高周波溶融装置
ビード＆フューズサンプラ

オートサンプラ機能搭載
TK-4500

高周波誘導加熱方式による
蛍光 *X* 線分析用ガラスビードの作成や
***ICP* や *AA* 分析用アルカリ融解処理を行う**
無機材料の前処理装置です。

卓上タイプ TK-4100

・温度コントロールが容易で
軽元素の飛散を抑え、難溶解物を溶融させます。
・卓上タイプとオートサンプラ機能を搭載した２機種の
ラインナップで研究開発部門から品質管理部門まで
幅広くサポートします。

＊白金ルツボ等の化学分析用白金製品の改鋳も承ります。

株式会社アメナテック
〒224-0003　神奈川県横浜市都筑区中川中央 2-5-13 メルヴューサガノ 401
TEL：045-548-6049 / FAX：0445-548-6179
e-mail：info@amena.co.jp　URL：http://www.amena.co.jp

HITACHI
Inspire the Next

持続可能な将来を支える日立ハイテクの先端機器

HITACHI High-Tech's advanced instruments support sustainable future.

自然環境と社会発展が共存するサステナブル社会の構築を目指し、私たち日立ハイテクは、機器分析で、“研究開発”、“産業製造”、“環境保全”を支援します。

環境問題

気候変動・地球温暖化

大気汚染

水質汚染

土壌汚染

資源枯渇

研究開発 ソリューション

環境課題解決のための
テクノロジーや材料の開発支援

- 燃料電池電解質膜の特性評価
- 燃費向上のための軽量素材の特性評価
- 太陽電池材料の元素分析　など

蛍光X線分析装置

ガスバリア
検査装置

熱分析装置

ICP発光分光
分析装置

TOF-SIMS

高速液体
クロマトグラフ

走査型プローブ
顕微鏡

走査電子顕微鏡

電解放出形
透過電子顕微鏡

産業製造 ソリューション

環境配慮製品の
製造支援、品質管理

- リチウムイオン電池電極の品質管理
- リサイクルプラスチックの特性評価
- リサイクル貴金属の元素分析　など

X線異物
解析装置

加熱脱離
質量分析計

熱分析装置

ハンドヘルド
蛍光X線分析装置

可搬型
金属成分分析器

ナノ3D光干渉
計測システム

超高分解能電界放出形
走査電子顕微鏡

環境保全 ソリューション

自然環境の改善や
保全のための環境分析

- 海洋や河川水の分析
- 土壌分析
- 工場排水の分析　など

高速液体
クロマトグラフ

分光蛍光光度計

分光光度計

原子吸光光度計

蛍光X線分析装置

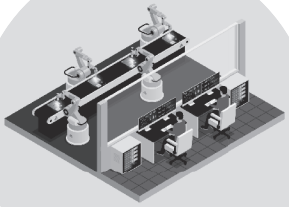
ICP発光分光
分析装置

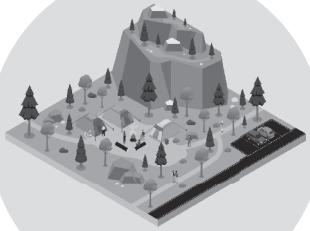
ガスクロマトグラフ
質量分析計

加熱脱離
質量分析計

水銀分析計

研究開発


産業製造


環境保全

株式会社 日立ハイテク　株式会社 日立ハイテクサイエンス

本社 〒105-6409 東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 虎ノ門ヒルズ ビジネスタワー　電話03-3504-6111

インターネットでも製品紹介しております。
URL www.hitachi-hightech.com/jp/science/

富栄養化
—森林生態系の窒素—

木庭　啓介

1　はじめに

窒素は大気の 78 % 程度を占める元素であり，そのほとんどはN_2ガスという極めて安定な形で存在している．一方で DNA やタンパク質などに窒素が含まれるように，生物にとって窒素は必須の元素である．また，実際に生物が利用できる窒素（可給態窒素）はごく少量でしかなく，窒素固定や大気からのインプット（大気沈着）により供給された窒素は，生態系そして生体内でさまざまな酸化数を取り，特有の化学的特徴を持つ窒素化合物として存在し，その機能は異化同化によるエネルギー代謝，シグナル伝達など様々に渡る（図 1）．

生態系における窒素を分析する際には，1. 様々な窒素化合物が様々な形態（ガス態，溶存態，固体）をとること，2. 窒素化合物が物理化学的に反応してしまうこと（土壌吸着など），3. 生物による要求性が高いため，重要な窒素化合物の濃度が低く，かつその回転速度が高いこと，といった困難さがある．この状況の中，比較的分析およびその解析が定量的に行いやすい海洋や湖沼にて窒素循環研究は進展してきた．たとえば本稿の題目にある「富栄養化」については，栄養素としての窒素増加によるアオコの発生や沿岸態の貧酸素状態などの現象がよく知られている[1]．

一方で陸上生態系，特に森林生態系では，窒素循環の重要な要素である土壌が極めて高い空間的異質性を取ること，一次生産者の樹木のバイオマスが巨大かつ生長量が相対的に小さくその動態が追跡しにくいことなどがあり，研究はなかなか進んでいない．しかし人間活動の増大により，森林生態系への窒素供給は増大しており，その結果森林の富栄養化（窒素過多）状態が生じている．この窒素過多状態は，「窒素飽和」とよばれ，酸性雨問題が生じていた欧米で 1980 年代後半に概念が提唱されている[2)~5)]（図 2）．

そこで本稿では生態系として森林生態系を取り上げ，どのように森林窒素循環を分析してゆくことが可能か，そして森林の富栄養化というものをどのように捉えることが可能かについて，特に鍵となる可給態窒素の分析を紹介しながら解説してゆくこととする．

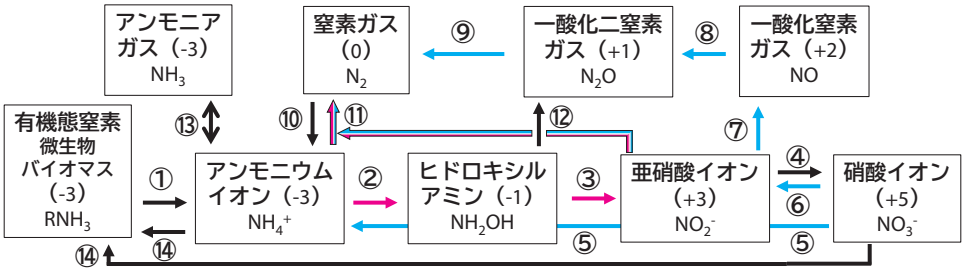


図 1　森林土壌中の窒素循環

様々な酸化数（括弧内）を取る物質が様々な生物化学反応によって生成・消費されている．一般的な従属栄養微生物による反応ではなく独立栄養微生物による反応（赤色），また一般的な酸化的環境ではなく還元的（低酸素）環境で生じる反応（青色）が混在していることが特徴である．また一般に②③④をあわせて「硝化」，⑥⑦⑧⑨をあわせて「脱窒」と呼ぶ（図 2）

Eutrophication. —Nitrogen in the Forest Ecosystems—

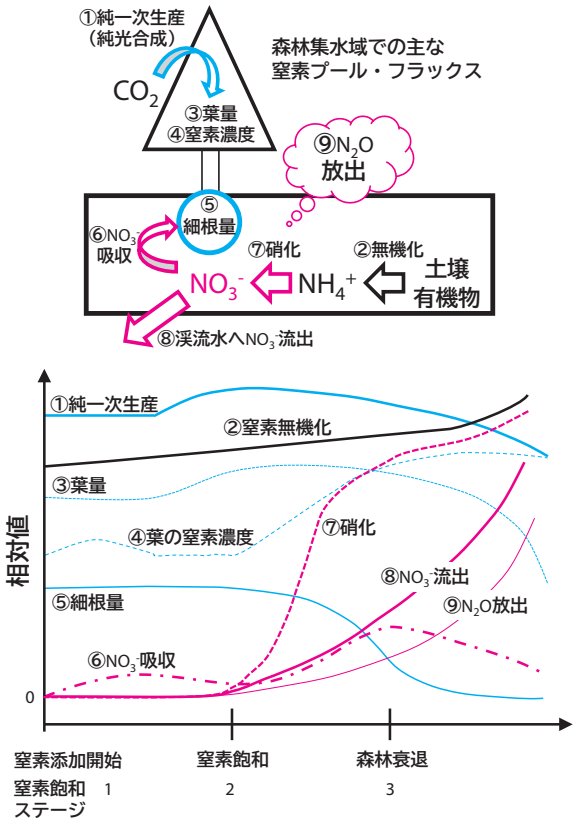


図 2　森林窒素循環（上図）が窒素沈着に伴い，どのように変化してゆくか，についての概念図（下図：文献 2 より改訂）

上図と下図にある窒素プール・フラックスの番号はそれぞれ対応している．

窒素が足りない大気窒素沈着の増大前（ステージ 0）から，大気窒素沈着が増大し，窒素添加が開始されてから「窒素飽和」となり，森林が衰退してゆくまでをステージ 1，2，3 と定義して，それぞれのステージ内で窒素沈着が継続してゆくにつれてどのような窒素循環パラメーターが変化してゆくかを相対的に示している．

2　森林生態系における窒素循環：土壌，集水域レベルでの議論

2·1　森林土壌窒素プール測定

2·1·1　土壌サンプリングと可給態窒素の抽出

森林土壌は森林生態系内の窒素の大部分を蓄積する重要な窒素プールである．土壌窒素のほとんどが植物・微生物由来の窒素と鉱物が複雑に混合した有機態窒素である．この有機態窒素のほとんどは微生物や植物が利用可能な窒素（可給態窒素）ではなく，その濃度オーダーは，土壌有機態窒素≫土壌微生物バイオマス窒素≫可給態窒素（数～数十 mg-N/kg 乾燥土壌）である（表 1）．本稿ではこの「可給態窒素」をアミノ酸のようなモノマー，またはアンモニウムイオンや硝酸イオンのようにイオン状態で溶存しているものとするが，重要なことはその量が土壌窒素全体の 1 % にも満たないことである（表 1 の太枠内が可給態窒素）．

この可給態窒素の測定については（1）土壌水（土壌溶液）を採水し，そこに含まれる可給態窒素の濃度を測定する，（2）土壌を採取し，溶液と混合し，溶存態，イオン交換態の可給態窒素を抽出し，その濃度を測定する，という 2 種類のアプローチが可能である．（1）での採水については，採水セラミックカップを土壌に設置し，内部を減圧することで土壌水を採水する方法（テンションライシメーター法）や，ちりとりのような受け皿を土壌に埋設し，土壌中を流れてくる水を回収する方法（テンションフリーライシメーター法）などがある[6]．どちらもひとたび土壌に設置して，ライシメーター設置による根の裁断などの撹乱の影響がおさまれば，その後同一地点から時系列的にサンプルを採取できる利点がある．一方でそもそも土壌水分が少ないと採水が不可能であること，また可給態窒素の溶液濃度は得られるものの，土壌中にどれだけ可給態窒素が存在したかという体積的，面的な濃度情報を得ることができないことが欠点である．

表 1　森林土壌窒素の内訳

	窒素濃度（mg-N/kg 土壌）	%
有機態窒素	555.43	94.14
微生物バイオマス窒素	34.33	5.82
アンモニウム態窒素	0.18	0.03
硝酸態窒素	0.06	0.01

（京都大学上賀茂研究林鉱質土壌 0 ～ 5 cm 深；木庭ら未発表データ）

一方（2）は，土壌を採取し抽出できさえすれば乾燥時期でも確実に濃度情報を得ることができ，一定底面積，一定体積の土壌コアをサンプリングに利用することで単位体積，単位面積土壌あたりの窒素量を取得できるという長所があるため，こちらが一般的である．この土壌抽出においては，1 M または 2 M KCl 溶液か 0.5 M K_2SO_4 溶液が抽出液として頻用される．これは，アンモニウムイオンとイオン半径が近く，その土壌粒子への吸着様式が類似していると考えられる[7]カリウムイオンによるイオン交換で，土壌に吸着しているアンモニウムイオンを抽出できるためである．可給態窒素の一種であるアミノ酸についても，その土壌粒子への吸着は主に土壌粒子のイオン交換サイトで生じていると考えられるので，KCl や K_2SO_4 溶液により土壌に吸着されている，利用可能なアミノ酸が抽出されると考えられる．

2·1·2　土壌微生物バイオマス窒素の抽出

比較的プールが大きく重要な土壌微生物バイオマス窒素（表 1）については，クロロホルム蒸気にて 1 日燻蒸（くんじょう）し，土壌微生物細胞中の窒素を抽出可能にした土壌と未燻蒸土壌との間で抽出可能窒素濃度を差し引き，抽出効率をかけ交わせて算定するクロロホルム燻蒸抽出法[8]がよく用いられている．この方法においては，基礎となる

微生物バイオマス炭素（溶存有機炭素）濃度測定において，K_2SO_4 溶液を抽出液として利用するのが一般的である．これは測定法開発当時に用いられていた二クロム酸カリウムによる比色法では，塩化物イオンによる干渉[9]があるためである．

2·1·3　窒素濃度測定

採取された溶液サンプルに含まれる窒素化合物は，IC 法などを用いて定量されることもあるが，上記の KCl や K_2SO_4 土壌抽出液中の窒素化合物は一般に吸光光度法で測定されることが多い[10]．ここで注意すべきは，対象とする窒素化合物が低濃度である場合が多いことに加え，土壌抽出液に含まれる様々な夾雑物（きょうざつ），そして高塩濃度が測定に影響を与える可能性があることである．たとえば硝酸イオン濃度は亜硝酸イオンへカドミウムなどを用いて還元したのちに，ナフチルエチレンジアミン吸光光度法で測定されることが多いが[10]，腐植物質などの溶存有機物が亜硝酸イオンへの還元反応を阻害するだけでなく，測定波長（540 nm）に吸光をもってしまい，測定吸光度が過大評価される可能性がある．このような問題に対応するためには，土壌抽出液の吸光特性を前もって確認すること，さらには濃度定量に用いる検量線が純水と KCl や K_2SO_4 溶液で異なる可能性があるかの検討を行うことが重要であり，対応が難しい場合は標準添加法による測定を考慮に入れる必要があるであろう．

2·2　土壌窒素フラックス測定

2·2·1　純速度測定

より大きな問題は，前項の（1）も（2）も，ある時点での濃度（量，プール）情報を与えるだけであり，どれだけ窒素が動いているか，というフラックス情報は与えてくれないことにある．可給態窒素は植物も微生物も利用するため，その濃度は一般に低く保たれており，濃度の大小だけで可給態窒素の動態を議論することは極めて困難である．そこで（2）においては，採取した土壌を実験室または野外で一定期間（たとえば 1 か月）培養し，培養前と培養後の可給態窒素濃度の増減をみることで，見かけの生成・消費速度を見積もることができる（純速度測定）．野外培養の場合は土壌コアをビニール袋に入れ，採取した地点に戻し 1 か月後に掘り出す．室内培養の場合は，土壌をビーカーなどにいれ，培養器にて一定温度で，定期的に乾燥して失われる水分を補給しながら 1 か月間培養し，その後，抽出して分析する．培養期間中，培養土壌に含まれている可給態窒素は植物によって吸収されることはないため，土壌と土壌微生物との間での窒素循環情報が得られ，土壌窒素供給潜在能評価が可能となる．事実，この窒素可給化（無機化）純速度が，作物の窒素吸収速度の良い指標となるという論文もあり[11]，その容易さもあって，純無機化速度はさまざまな土壌で測定されてきた．

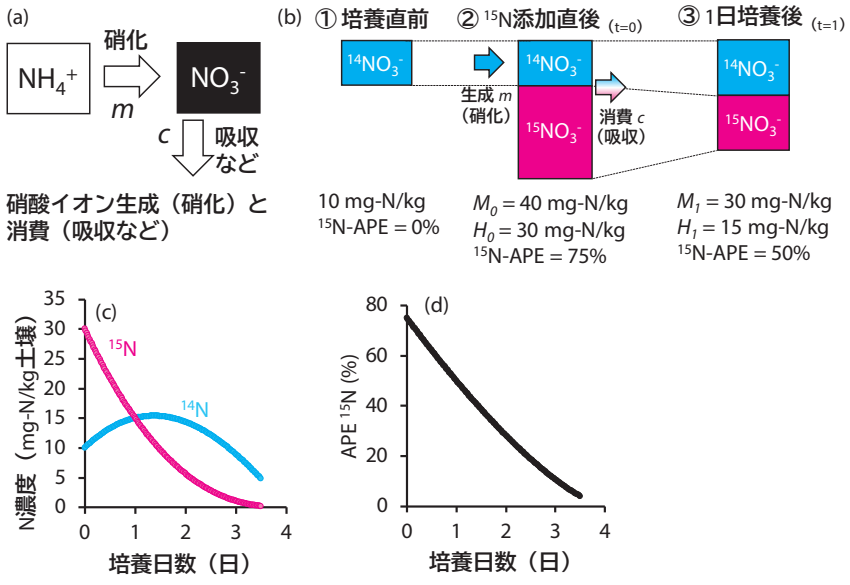


図 3　同位体希釈法による硝酸イオンの総生成速度・総消費速度の推定例

（a）硝酸イオンの生成（硝化）と消費（吸収など）．テキスト中の総生成速度（m）と総消費速度（c）を対応させて示している．（b）採取した土壌（①）に ^{15}N でラベルした硝酸イオンを添加し（②），1 日間培養後（③），M（$^{14}N+^{15}N$ 濃度），H（^{15}N 濃度）を測定し，テキストにある計算式を用いて m と c を計算する．培養中に生成される NO_3^- のほとんどが $^{14}NO_3^-$ であり，$^{14}NO_3^-$ は同時に消費も受ける．一方 $^{15}NO_3^-$ はもっぱら消費だけを受ける．今回の例（m：24.1 mg-N/kg/day，c：14.1 mg-N/kg/day）では $^{15}NO_3^-$ は単調減少するが，$^{14}NO_3^-$ プールは m と c のバランスの結果，培養 1 日後ではむしろ大きくなっている（c）．また，純生成速度は−10.0 mg-N/kg/day（M_1-M_0）であり，m とは全く違うことに注意されたい．（c），（d）得られた総速度を元に，シミュレーションした培養期間中の ^{14}N と ^{15}N 濃度および ^{15}N レベルの変化．

※ APE：atom % excess の略で ^{15}N 自然存在比率（約 0.366 %）から ^{15}N が何 %，より濃縮されているかを示す指標．

2·2·2　同位体希釈法による総速度測定

純速度は必ずしも総速度と同じ傾向を示さない．実際 ^{15}N ラベルした硝酸イオンを土壌に添加し，硝酸イオンの総生成・消費，回転速度を見積もる「同位体希釈法」を用いた研究[12]では，硝酸イオンが極低濃度かつ純生成（硝化）速度も低かった森林土壌中で，実は硝酸イオンはかなりの総生成速度と同時に総消費速度を持ち，大変速く回転している（1 日程度の滞留時間）ことが明らかとなった．ここで用いられた同位体希釈法（図 3）は，いわゆる ^{15}N トレーサー法の一種であるが，基質（硝化の場合アンモニウムイオン）を ^{15}N でラベルするのではなく，生成物（硝化の場合硝酸イオン）を ^{15}N でラベルし，^{15}N ラベルされた硝酸イオンが消費されると同時に，^{14}N を持つ硝酸イオンがアンモニウムイオンから生成されてゆくのに従う，全硝酸イオン濃度とそこに含まれる ^{15}N 濃度の変化を追跡するものであり，基質濃度を上昇させて測定対象反応を促進させることがない点が長所である．総生成速度（m）と総消費速度（c）は以下のような式で算出される[13]；

$$m=\frac{M_0-M_1}{t}\times\frac{\log(H_0M_1/H_1M_0)}{\log(M_0/M_1)}$$

$$c=\frac{M_0-M_1}{t}\times\frac{\log(H_0/H_1)}{\log(M_0/M_1)}$$

ここで M は $^{14}N+^{15}N$ の濃度，H は ^{15}N の濃度，0，1 という添え字はそれぞれ培養初期，終了時を表し，t は培養時間である．^{15}N 濃度についてはアンモニウムイオンや硝酸イオンはそれぞれ回収後，元素分析計（EA）により N_2 ガスへ燃焼され，安定同位体比質量分析計（IRMS）を用いて測定される．この測定では多量の窒素が必要となることと，一般的ではない EA-IRMS を利用するという欠点があるので，近年では GC/MS を用いた測定法も確立されている[14]．

この同位体希釈法の短所は，EA-IRMS に供するまでの前処理，および ^{15}N 測定が大変複雑かつ困難であること，^{15}N トレーサーの土壌への均一な添加に限界があること，そして回転速度が培養時間と比較して速すぎる場合に総速度推定が困難になることである．しかし，これらの欠点にもかかわらず，本来の窒素循環像に近いフラックスを測定できる方法として，この同位体希釈法は 1990 年以降，土壌窒素循環測定で重要な測定法となっている．

2·2·3　ガスフラックス測定

上述したとおり土壌中の窒素動態を追跡することは難しいが，土壌から放出されるガスのフラックスのうち，一酸化窒素や一酸化二窒素といった一部のガスについては比較的容易に測定可能となっている．一酸化窒素ガスは化学発光法，一酸化二窒素ガスは電子捕獲型検出器（ECD）-GC で，大気濃度レベルの濃度定量が可能であるため，土壌を閉鎖容器に一定時間入れ，容器内の一酸化窒素や一酸化二窒素ガス濃度の上昇から，ガス発生フラックスを算出することが可能である．またその ^{15}N トレーサー濃度を GC/MS や GC-IRMS，レーザー分光計を用いて測定することで，一酸化窒素や一酸化二窒素の生成および消費過程の解析が可能となる．問題点は，一酸化窒素や一酸化二窒素放出フラックス速度が小さいことから，大量のガスサンプルを濃縮するなどの前処理または測定機器の改造が必要になる場合があること，一酸化窒素ガスは反応性が高いために，容器をテフロンコーティングし常にガスサンプルを流しながら測定する必要があること，測定のために十分な一酸化二窒素濃度を確保しようと長期間土壌を閉鎖培養する場合，同時に大量の二酸化炭素ガスの蓄積，酸素ガスの消費が進むため，微生物生理活性に大きな影響があるだけでなく，測定阻害の可能性もあること，などが挙げられる．

3　集水域としての森林，土壌―植物系における窒素循環

3·1　森林の窒素循環：窒素制限から窒素飽和へ

水分・光とならび，植物への窒素供給は植物の一次生産を制限する要素である[15]．植物と土壌微生物が窒素を要求するため，土壌中の可給態窒素濃度は低く抑えられているが，人間活動，特に化石燃料の燃焼や化学肥料の利用の増加により，森林生態系への窒素供給は近年増大している．降水に溶存した形での窒素供給を湿性窒素沈着，エアロゾルのような形での窒素供給を乾性窒素沈着と呼ぶが，この窒素沈着が長期間にわたり高いレベルで保たれた場合に，元々窒素が足りなかった森林はそれまでとは異なる窒素循環像を示し始める（図 2）．森林は広大であるが，主な物質輸送媒体である水に着目し，水の収支を考察できる空間単位（集水域）を生態系の境界条件として扱うことが多い．それぞれの森林が持つ集水域（多くの場合山の尾根で囲まれた空間で，水は最終的に一つの湧水地点から渓流水として系外へ放出される）において，沈着速度，ガス放出速度，そして渓流水として流出する窒素を測定することで，異なる生態系の窒素状況を比較することが可能となる[10]．集水域の構成要素である植物と土壌の窒素についてみてみよう（図 2）．

そもそも森林は植物にとって窒素が足りない状態であるが，窒素沈着が増大し始めたステージ 1 では，供給された窒素を用いて植物の葉の窒素濃度は上昇し（これは一次生産増大に繋（つな）がる），その窒素濃度の高い葉が土壌へと供給されるため，土壌窒素無機化は少しずつ増大する．さらに沈着が継続すると（ステージ 2），土壌中では窒素無機化がさらに進み，生成された大量のアンモニウムイオンをもはや土壌微生物が同化しきれなくな

り，特殊な独立栄養微生物である硝化菌が硝化し始める．結果，土壌・土壌溶液中の硝酸イオン濃度は上昇し，脱窒が促進されるため中間生成物である一酸化二窒素放出が増大，また硝酸イオンが渓流水とともに流出する．この状態では生態系に供給される窒素量と生態系から失われる窒素量がほぼ釣り合うような異常事態であり，窒素が足りず土壌や植物体に窒素が蓄積していっていた当初の状態とは全く異なっている．このような状態を窒素飽和と呼んでいる．さらに窒素沈着が継続し，森林が衰退しているステージ 3 となると，もはや植物の一次生産は逆に減少してしまう．

3·2　窒素飽和判定

3·2·1　渓流水硝酸イオン

窒素飽和は欧米の問題というわけではなく，国内でも窒素飽和森林が増大しているという懸念が広がっている．この状況把握が急務ではあるが，図 2 にある指標を単発的に測定するだけでは窒素飽和状態の判定は極めてむずかしい．たとえば窒素飽和の指標としてよく用いられている渓流水硝酸イオン濃度であっても国内森林で大きな幅があり[16]，高濃度であるからと言ってその森林が衰退しているわけではないということもわかっている．図 2 をよく見れば，その指標の大半は濃度ではなくフラックスであり，単なる濃度測定では窒素飽和状態の判定ができず，フラックス測定が必要であることが示唆されている．しかしこれまで見てきたとおり窒素のフラックスを求めることは土壌に関してだけでも困難であり，さらに植物がどれだけ窒素を吸収しているかを測定することは極めてむずかしい．渓流水による硝酸イオン流出フラックスの算定においては，流出する渓流水の量，そこに含まれる硝酸イオン濃度の両方を高時間分解能で長期間（少なくとも数年間）観測する必要があり，大変な労力が必要である．

3·2·2　^{15}N 追跡

海外では森林の広範囲に ^{15}N でラベルしたアンモニウムイオンや硝酸イオンを窒素沈着と見立てて散布し，^{15}N が樹木にどれだけ蓄積したかで窒素吸収量を見積もる研究が多く展開されている[17]．^{15}N でラベルした硫酸アンモニウムなどを森林に散布し，定期的に植物体や土壌を採取し，EA-IRMS で ^{15}N 含量を測定することで，どれだけ散布された ^{15}N が森林内のどこに保持されているかについての定量的な議論が可能である．しかし，一度散布した窒素は森林のなかで何度となく再循環され，その結果可給態窒素の ^{15}N 濃度は急激に減少してゆくため，^{15}N 散布後数年経過してしまうと，植物の窒素吸収速度を正確に見積もるにはシミュレーションモデル計算とそのシミュレーションのために土壌，可給態窒素，樹体内窒素など様々なコンパートメントの ^{15}N 濃度測定が必要となり，大変な労力を必要とする[18]．

全く別のアプローチとして，生態系窒素循環が定常状態であると仮定し，土壌からの脱窒の同位体効果により土壌窒素の ^{15}N 自然存在比が上昇するはずとして脱窒速度を見積もる試み[19]や，さらに脱窒の実際の基質である硝酸イオンの集水域へのインプットとアウトプット，さらにそれらの ^{15}N，^{18}O，^{17}O 自然存在比を組み合わせた集水域総硝化速度と脱窒速度の推定の試みが展開されている[20]．しかし，たとえば窒素飽和状態へと移行している状態の生態系を定常状態と見なして議論することが果たして可能かという大きな問題が残っている．

3·2·3　ガスフラックス測定

フラックスとして測定が比較的容易なものは，渓流水による窒素流出と，ガス態窒素損失の中の一酸化二窒素ガス放出速度である．脱窒（図 1）の最終放出産物は N_2 ガスであり，大気 N_2 ガスが余りに高濃度であるため，土壌からの N_2 放出速度を見積もることはほぼ不可能であるが，中間生成物である一酸化二窒素については前述の通り，土壌からの放出速度の見積もりがクローズドチャンバー法[21]などを用いて可能な状態にある．また理想的には，一酸化二窒素が N_2 ガスへと還元される割合を様々な土壌環境で測定することで関数化することができれば，一酸化二窒素の連続観測にその関数（または変換係数）を適用することで，一酸化二窒素と N_2 ガスとしてどれだけの窒素が放出されているかを推定できるはずである．しかし現在までの所，一酸化二窒素から N_2 ガスへの還元割合推定は不確かで[22]，脱窒速度の正確な見積もりには至っていない．観測された一酸化二窒素がどれだけ N_2 ガスに還元された残りなのかが判明すれば大きな手がかりになるため，一酸化二窒素の ^{15}N，^{18}O 自然存在比，並びに N−N−O の中心の N 原子（分子内同位体分布[23]）に関して，同位体効果（軽い ^{14}N や ^{16}O が重い ^{15}N や ^{18}O と比較して速く反応すること）により ^{15}N や ^{18}O 濃度が上昇することを利用して，一酸化二窒素がどれだけ還元を受けているかを推定する試みも行われている[24]．

3·2·4　リモートセンシング

フラックスを直接観測することが難しい場合，プールの時空間的分解能を上昇させプール変化の時系列情報から生態系の状態を捉えるというアプローチも妥当なものだと思われる．図 2 にある一次生産，葉量，葉の窒素濃度などについては，リモートセンシング技術によって現在様々に測定が可能となりつつある．これまで地道に葉をサンプリングし，乾燥粉砕し，EA にて炭素窒素濃度を測定し，最終的に個葉の情報を面的にかけ算してゆく，といったことが，より広域により高い時間分解能で，非破壊で実現可能となってきている．流出窒素についても，水質モニタリング技術の発展により，たとえば渓流水中の水質について様々な水質を UV センサーでモ

ニタリングできるという報告が出てきている[25]．これらのようなモニタリング技術により，窒素フラックスのいくつかについては劇的にその見積もり精度が上昇する可能性がある．特に窒素飽和の指標として重要な渓流水硝酸イオン濃度は，降水，それに伴う流出水量の増減に敏感に反応することが知られており，一般的に行われる定期観測での採水だけでは，大きな流出フラックスを見逃す可能性がある．連続的な水質モニタリングが進むことで，森林の窒素流出の詳細な状況把握が実現し，さらに，たとえば硝酸イオン濃度が高まる時期だけより高時間分解能で自動サンプリングを行うといった，より定量的に窒素フラックスを議論するためのモニタリング体制の見直しが可能になると期待されている．

3･2･5　窒素飽和状態判定の新指標

窒素飽和の全体像を描くことはむずかしいにせよ，その一端を追跡することは可能である．たとえば窒素沈着で供給される窒素化合物のうち，硝酸イオンだけに着目し，どれだけ大気沈着硝酸イオンが森林生態系で除去されているかという点に着目すると，通常の窒素制限森林では大気沈着硝酸イオンは植物や土壌微生物により利用され，渓流水硝酸イオンは土壌中で硝化により生成されたものとなっているはずである．逆に窒素飽和で窒素が余っている状態であれば，渓流水硝酸イオンには大気沈着硝酸イオンが混じっているであろう．実は同じ硝酸イオンではあるものの，大気沈着硝酸イオンは ^{18}O や ^{17}O に富むことが知られており，渓流水の硝酸イオンの ^{17}O 自然存在比（正確には ^{17}O 異常濃縮度）を精密に測定することで，渓流水硝酸イオンにどれだけ大気沈着硝酸イオンが混入しているかを定量的に測定することが可能である[26]．渓流水硝酸イオン濃度が高い森林ほどこの ^{17}O 異常濃縮度が高いことが報告されており[27]，今後，様々な森林での測定が進むことで，この新指標の代表性がより担保されてゆくと期待されている．

3　おわりに

森林という広大な対象での複雑な窒素循環について，どのようなアプローチがあり得るのかということを，可給性窒素，窒素飽和という面から，異なる測定法で異なる特徴付けができてしまうこと，窒素循環が生物地球化学的に様々な要素を持っていることから，その特徴付けについては単一指標での切り口では足りないこと，などを議論してきた．日本の森林生態系の多くは，高温多雨なアジアモンスーン地域で，火山活動・造山活動が活発なため土壌にミネラルが豊富であり土壌の酸中和能力が比較的高いなど，世界的にみても希有な特徴を有している[28]．風化が進み土壌にミネラル分がすでに足りないことがある欧米の森林，リンが足りなくなっているために，相対的に窒素が飽和している状態にあると考えられている熱帯雨林などいろいろな状態の森林があるが，全世界的には窒素沈着が増大すると予想されている．このような状況の中，日本の森林は将来どのような応答を示すのかという点を理解し，健全な森林の維持管理へとつなげることは，窒素循環の包括的な理解とともに，SGDs に代表される社会的基礎基盤の保全に大きく寄与するものである．窒素循環は複雑，特に土壌窒素循環は大変複雑で，という声は常にあるが，その複雑さに様々なアプローチを駆使して対峙してゆくことが急務となっており，本稿がその中での一助になれば大変うれしいことである．

文　献

1）門脇浩明，立木佑弥：“遺伝子・多様性・循環の科学 生態学の領域融合へ”，(2019)，(京都大学学術出版会)．
2）J. D. Aber, K. J. Nadelhoffer, P. Steudler, J. M. Melillo : *Bioscience*, **39**, 378 (1989)．
3）J. Aber, W. McDowell, K. Nadelhoffer, A. Magill, G. Berntson, M. Kamakea, S. McNulty, W. Currie, L. Rustad, I. Fernandez : *Bioscience*, **48**, 921 (1998)．
4）J. L. Stoddard : “Long-term changes in watershed retention of nitrogen ; Its causes and aquatic consequences”, p223-284 (1994) in L. A. Baker (ed) Environmental Chemistry of Lakes and Reservoirs, (Washington (DC)), (American Chemical Society)．
5）林健太郎，柴田英昭，梅澤　有：“図説 窒素と環境の科学 人と自然のつながりと持続可能な窒素利用”，(2021)，(朝倉書店)．
6）小杉賢一朗：水文・水資源学会誌，**13**，462 (2000)．
7）J. B. Page, L. D. Baver : *Soil Science Society of America Proceedings*, **4**, 150 (1939)．
8）P. C. Brookes, A. Landman, G. Pruden, D. S. Jenkinson : *Soil Biology & Biochemistry*, **17**, 837 (1985)．
9）J. G. Guinn, M. Salomon : *Soil Science Society of America Proceedings*, **28**, 456 (1964)．
10）柴田英昭：“森林集水域の物質循環調査法”，(2015)，(共立出版)．
11）K. J. Nadelhoffer, J. D. Aber : *Plant and Soil*, **80**, 321 (1984)．
12）E. A. Davidson, J. M. Stark, M. K. Firestone : *Ecology*, **71**, 1968 (1990)．
13）E. A. Davidson, S. C. Hart, C. A. Shanks, M. K. Firestone : *Journal of Soil Science*, **42**, 335 (1991)．
14）K. Isobe, Y. Suwa, J. Ikutani, M. Kuroiwa, T. Makita, Y. Takebayashi, M. Yoh, S. Otsuka, K. Senoo, M. Ohmori, K. Koba : *Microbes and Environments*, **26**, 46 (2011)．
15）P. M. Vitousek, R. W. Howarth : *Biogeochemistry*, **13**, 87 (1991)．
16）柴田英昭，戸田浩人，稲垣善之，舘野隆之輔，木庭啓介，福澤加里部：地球環境，**15**，133 (2010)．
17）X. Zhou, A. Wang, E. A. Hobbie, F. Zhu, Y. Qu, L. Dai, D. Li, X. Liu, W. Zhu, K. Koba, Y. Li, Y. Fang : *New Phytologist*, **229**, 3184 (2021)．
18）W. S. Currie, K. J. Nadelhoffer, J. D. Aber : *For. Ecol. Manage.*, **196**, 109 (2004)．
19）B. Z. Houlton, E. Bai : *Proc. Nat. Acad. Sci. U. S. A.*, **106**, 21713 (2009)．
20）柴田英昭編：“大気窒素沈着による森林生態系の窒素飽和現象 安定同位体を用いた研究アプローチ”，森林と物質循環，p. 14，(2018)，(共立出版)．
21）森林立地調査法編集委員会編：“地表面のガスフラックス”，森林立地調査法―森の環境を測る，p. 209 (2010)，

(博友社).
22) C. Scheer, K. Fuchs, D. E. Pelster, K. Butterbach-Bahl : *Curr. Opin. Environ. Sustainability*, **47**, 72 (2020).
23) N. Yoshida, S. Toyoda : *Nature*, **405**, 330 (2000).
24) 木庭啓介：海洋科学研究，**31**，10 (2018).
25) J. Pesántez, C. Birkel, G. M. Mosquera, P. Peña, V. Arízaga-Idrovo, E. Mora, W. H. McDowell, P. Crespo : *Hydrological Processes*, **35**, e14357 (2021).
26) 角皆　潤，中川書子：エアロゾル研究，**31**, 5 (2016).
27) F. Nakagawa, U. Tsunogai, Y. Obata, K. Ando, N. Yamashita, T. Saito, S. Uchiyama, M. Morohashi, H. Sase : *Biogeosciences*, **15**, 7025 (2018).
28) 大手信人：陸水学雑誌，**67**, 259 (2006).

木庭啓介（Keisuke KOBA）
京都大学生態学研究センター（〒520−2113 滋賀県大津市平野 2−509−3）．京都大学大学院農学研究科博士課程退学．博士（農学）．《現在の研究テーマ》主に安定同位体を用いた，自然生態系における生元素循環．《主な著書》“Earth, Life and Isotopes” N. Ohkouchi, I. Tayasu, K. Koba,（Kyoto University Press.）pp430,（2010），ISBN 978-87698-960-7．《趣味》読書，音楽鑑賞．

原　稿　募　集

「技術紹介」の原稿を募集しています

対象：以下のような分析機器，分析手法に関する紹介・解説記事
1）分析機器の特徴や性能および機器開発に関わる技術，2）分析手法の特徴および手法開発に関わる技術，3）分析機器および分析手法の応用例，4）分析に必要となる試薬や水および雰囲気などに関する情報・解説，5）前処理や試料の取扱い等に関する情報・解説・注意事項，6）その他，分析機器の性能を十分に引き出すために有用な情報など

新規性：本記事の内容に関しては，新規性は一切問いません．新規の装置や技術である必要はなく，既存の装置や技術に関わるもので構いません．また，社会的要求が高いテーマや関連技術については，データや知見の追加などにより繰り返し紹介していただいても構いません．

お問い合わせ先：
日本分析化学会『ぶんせき』編集委員会
〔E−mail : bunseki@jsac.or.jp〕