

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月4日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22651001

研究課題名（和文） 硝酸の同位体組成を指標に用いた植物の窒素同化過程解析

研究課題名（英文） Tracing nitrate uptake by plants using the natural stable isotopes

研究代表者

角皆 潤 (TSUNOGAI URUMU)

北海道大学・大学院理学研究院・准教授

研究者番号：50313367

研究成果の概要（和文）：

植物にとって窒素(N)は必須栄養素の一つである。一般に植物は根から取り込んだ硝酸(NO_3^-)やアンモニアを窒素源として利用していると考えられている。しかし酸性雨などとして知られるように、降水は NO_3^- を土壌水と同等か、それ以上の高い濃度で含んでいることが知られている。そこで本研究は、植物が葉などを通して大気からの沈着に由来する NO_3^- を直接取り込んでいる可能性について、植物体内から抽出した NO_3^- の同位体組成を指標に検証した。本研究では、特に NO_3^- の三酸素同位体組成($\Delta^{17}\text{O}$)に着目した。 $\Delta^{17}\text{O}$ はオゾン(O_3)が関係した大気中の光化学反応で値が増大するのに対して、一般の化学反応では変化しないという特徴がある。それゆえ、大気 NO_3^- は $\Delta^{17}\text{O} = +25\%$ 前後の大きな値を示すのに対して、土壌中で硝化等によって生成する NO_3^- は $\Delta^{17}\text{O} = 0\%$ となる。植物体内の NO_3^- の $\Delta^{17}\text{O}$ を測定する事により、大気から直接取り込まれた NO_3^- が存在するかどうか、正確に判別する事が可能である。試料は、北海道大学北方生物圏フィールド科学センターの雨龍研究林を中心とした北海道内の山林に自生していた植物で、特に普遍的に存在する笹を中心に、数種の植物の葉や茎、根を採取した。採取した植物は超純水を用いてよく洗浄した後、凍結乾燥してから粉碎し、超純水にて振とう抽出を行った。抽出された水溶液中の NO_3^- は、まず Cd 還元法を用いて NO_3^- を NO_2^- 化した上で、 N_3H 試薬を用いて N_2O 化し、連続フロー型質量分析計に導入して同位体組成を定量した。分析の結果、植物の特に葉において 最大で $\Delta^{17}\text{O} = +18\%$ もの大きな三酸素同位体異常が観測された。一方、根や茎などではあまり大きな異常は観測されなかった。以上の事実から、植物中では根以外に葉から直接的に NO_3^- を体内に取り込むプロセスが存在することが確認された。植物体内の NO_3^- の $\Delta^{17}\text{O}$ は、植物中の窒素取り込み過程の違いを識別できる有用な指標となり得る事が示された。

研究成果の概要（英文）：

Nitrate (NO_3^-) is an essential nutrient for plants. In general, it is assumed that plants obtained NO_3^- only through their root tissues. However, some plants could obtain NO_3^- through leaf tissues to some extent, because significant quantities of atmospheric NO_3^- ($\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$) deposit onto earth surface through wet and dry deposition. However, it was difficult to clarify and to quantify the direct $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ assimilation in past studies. The triple oxygen isotopic composition ($\Delta^{17}\text{O} \approx \delta^{17}\text{O} - 0.52 \times \delta^{18}\text{O}$) of NO_3^- can be a useful tracer to quantify the mixing ratios of $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ within total NO_3^- in plants ($\text{NO}_3^-_{\text{plant}}$). This is because $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ is the only source of the large ^{17}O anomaly ($\Delta^{17}\text{O} > 0$) due to the O atom contribution from ^{17}O -enriched ozone. In contrast, re-mineralized NO_3^- produced biologically in a soil ($\text{NO}_3^-_{\text{soil}}$) shows little ^{17}O anomaly ($\Delta^{17}\text{O} = 0$). Furthermore, $\Delta^{17}\text{O}$ values are stable during the post-depositional isotopic fractionation processes such as assimilation, whereas both $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values of $\text{NO}_3^-_{\text{plant}}$ are variable. Therefore, the determination on the $\Delta^{17}\text{O}$ values of $\text{NO}_3^-_{\text{plant}}$ allows us to estimate the contribution of $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ in each plant tissue and to verify whether plants assimilate $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ or not. To clarify the direct NO_3^- assimilation, we determined $\Delta^{17}\text{O}$ values of $\text{NO}_3^-_{\text{plant}}$ in each tissue (leaf, stem and root) of *Sasa*, which was collected at forest floors located in campuses of Hokkaido University. We found large ^{17}O anomaly in leaves ($\Delta^{17}\text{O} =$ from +2 to +13‰), whereas little ^{17}O anomaly in stems and roots ($\Delta^{17}\text{O} =$ from 0 to +6‰). Therefore, we concluded the leaves contained $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ to some extent. Besides, while the $\Delta^{17}\text{O}$ values were stable in the stems and roots, the ^{18}O -enrichments more than 10‰ suggest the assimilation of $\text{NO}_3^-_{\text{soil}}$ in the stems and roots. In contrast, the linear correlation between $\Delta^{17}\text{O}$ and $\delta^{18}\text{O}$

values observed in leaves suggest mixing between NO_3^- atm and NO_3^- soil within leaves. Furthermore, the ^{18}O -enrichment trend during the growth seasons suggests the progress of assimilation within leaves. In conclusion, we found NO_3^- atm within the plant and clarified that the plants assimilate NO_3^- atm obtained through leaves to some extent.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
22年度	1,700,000	0	1,700,000
23年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	420,000	3,520,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：硝酸、同化、三酸素同位体組成、植物、アンモニア、窒素同位体組成、笹、凍結乾燥

1. 研究開始当初の背景

植物の窒素同化過程 (NO_3^- や NH_4^+ を有機態 N に変換する過程) は、植物学はもちろん、農学・林学・水産学・環境化学など多くの分野において関心を集めてきたが、たとえば同化される NO_3^- と NH_4^+ の比 ($\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ 同化比) のコントロール因子や、非土壌由来の窒素の寄与率が未だに明らかになっていないことに代表されるように、その詳細には未解明の点が多い。窒素同化過程は、主にそれらの ^{15}N 濃縮トレーサーを用いて各対象植物を培養し、培養後に植物体の窒素同位体組成 ($\delta^{15}\text{N}$) を定量することで解析されてきたが、培養に時間と手間がかかり、また培養操作が、植物の周辺環境を天然系と異なるものに変えてしまうという欠陥があった。

一方、本申請者はこれまで多くの分子について、天然レベルの同位体組成の高感度・高精度定量を実現してきた。その結果、20 nmol 程度の NO_3^- (植物軟体部 1 g 程度に含まれる NO_3^- 量に相当) について、 $\delta^{15}\text{N}$ 値や $\delta^{18}\text{O}$ 値はもちろん、三酸素同位体組成 ($\Delta^{17}\text{O} = \delta^{17}\text{O} - 0.52 \times \delta^{18}\text{O}$) を含めた安定同位体組成定量が実現出来るようになった。

2. 研究の目的

植物の体内に胚胎される NO_3^- の自然安定同位体組成の定量法を確立するとともに、これを天然指標として利用することで、培養に依存しない同化過程の定量法の開発に挑戦した。

3. 研究の方法

植物試料はクマイザサ (学名 *Sasa senanensis*) とチシマザサ (学名 *Sasa*

kurinensis) を用いた。本研究では、これらを総称してササと呼称する。ササは北海道内の森林に広く自生しており、その植生を一年中観測することが出来る。またササは森林生態系の窒素循環に大きな影響を及ぼし得る可能性を持っていることが明らかになっているため (Fukuzawa et al., 2003)、本研究の対象とした。

採取は主として北海道大学北方生物圏フィールド科学センター雨龍研究林 (幌加内町) と北海道大学札幌キャンパス (札幌市) において行い、ほかに日勝峠 (清水町)、双岳台 (釧路市)、美幌峠 (美幌町) においても行った。雨龍研究林は北海道の北部に位置し、日本を代表する多雪冷温地帯の森林である。植生は針広混交林であり、アカエゾマツ、トドマツ、ミズナラ、カンバ類、ハルニレ、シナ、ヤチダモ等が見られ、林床にはクマイザサが繁茂している。この研究林では長期モニタリングやフィールド実験が行われているが、多くの部分は人の手の加わっていない天然林に近い状態で保持管理されている。採取時期は 2010 年 4 月から 2011 年 11 月の間で、初春から晩秋にかけて採取を行った。ササの採取を地点や時期などの条件を変えて行うことで、ササの窒素利用過程の傾向を調べた。

採取したササは、分析のための処理を行う前に部位ごとに分類を行った。土壌より下にある部分を根、根から葉までをつなぐ茎にあたる稈、そして葉の 3 つに分類している。さらに葉は後述の処理手順における凍結乾燥過程の後、先端、中央、末端と 3 等分に分割した。

また、雨龍研究林にてササを採取した地点において、落ち葉などの表面腐食層を除去し、ササの根の周囲の土壌を採取し、ササが利用する

土壌 NO₃⁻の同位体組成分析も行った。

植物中に含まれる NO₃⁻の同位体組成と濃度を測定するために、本研究では西脇ら(1994)の手法を参考に、凍結乾燥を利用した抽出法を用いた。植物表面は塵や雨が蒸発して残った NO₃⁻が沈着している可能性があるため、超純水を用いてよく洗浄する。この際、植物体内の NO₃⁻が流出する可能性もあるが、沈着したものによって大気 NO₃⁻の影響を過大評価してしまうこと、また仮に流出したとしても Δ¹⁷O は分別によってその値が変化しないことから、洗浄を優先した。洗浄後、冷凍庫に入れ試料を保存した。採取後も植物は酵素の働きなどにより硝酸の濃度・同位体組成ともに変化する可能性があるため、手順1までを採取したその日のうちに済ませるようにした。

冷凍させた試料は重量を測定した後、凍結乾燥機に入れ、水分を飛ばした。目安として 100g 程度の試料であれば 10Pa 以下で一晩放置させた。その後、温風乾燥機に移し残った水分も飛ばした。十分乾燥していることを確認したら、再度重量を測定した。乾燥した試料はハサミ等を用いて細かく破碎した後、1g をポリプロピレン製の容器に分取し、超純水 100ml を加えた。その後 2 時間、振とうさせることにより、植物試料内にある NO₃⁻を超純水中に抽出した。最後に、抽出溶液を GF-F フィルタで吸引する過を行って、抽出液のみを分離し、これを分析することによって植物体内の NO₃⁻の濃度と同位体組成を定量した。

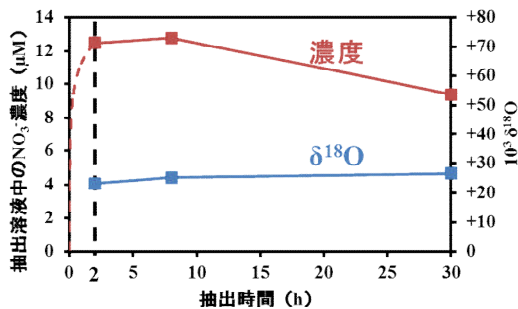


Fig. 1 植物抽出時間に伴う抽出水溶液中の NO₃⁻濃度と同位体組成の変化

乾燥前後の重量差が植物に含まれていた水分量であり、その中に溶けていた NO₃⁻がすべて上記の操作によって抽出されたものと仮定して、抽出液の NO₃⁻濃度を以下の式に当てはめ、植物体内の NO₃⁻濃度を見積もった。

$$\text{植物NO}_3^- \text{濃度} = \frac{\text{抽出液のNO}_3^- \text{濃度} \times \text{抽出水量}}{\text{抽出に用いた試料重量} \times \left(\frac{\text{生重量} - \text{乾燥重量}}{\text{乾燥重量}} \right)}$$

この式における抽出水量とは加えた超純水の量、抽出に用いた試料重量とは使った乾燥植物試料重量、生重量とは乾燥前の重量、乾燥重量とは乾燥後の重量を示す。

基礎実験の結果、これらの手順において、本来の組成を最も変化させる過程は手順5の NO₃⁻抽出であった。同じ試料で抽出時間を 2 時間、8

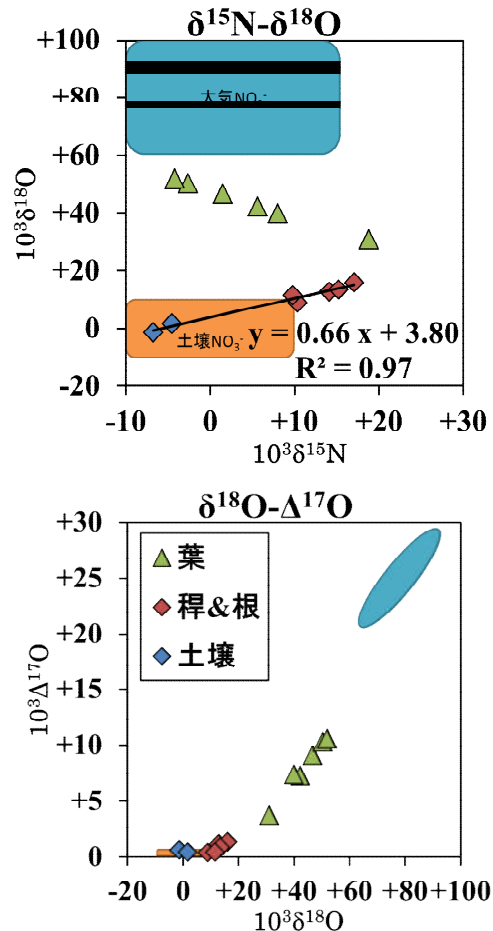


Fig. 2 ササの各部位別の NO₃⁻の δ¹⁵N-δ¹⁸O 間(上)および δ¹⁸O-Δ¹⁷O 間(下)の関係(雨龍研究林 11 月採取試料)

時間、30 時間と変化させた実験の分析結果を Fig. 1 に示す。抽出時間を増加させると、2 時間を最大にして徐々に抽出液中の NO₃⁻濃度が減少する。それに逆相関して δ¹⁸O 値は大きくなっていく。この結果は、植物を超純水に漬けて水分を行き渡らせたことで、植物の酵素や共生する菌類が活動を再開して NO₃⁻を消費したからであると考えられる。つまり、抽出自体は 2 時間程度で十分であり、それ以上だと本来の同位体組成まで変化させてしまう可能性がある。よって、本研究中では抽出時間は 2 時間で統一させた。

4. 研究成果

4.1 植物体内における NO₃⁻同位体組成分布
初めに雨龍研究林にて 11 月に採取した試料の分析結果を Fig. 2 に示す。この試料では、可能な限りササを部位別に区分し、体内での NO₃⁻の分布傾向を調べた。また同時に採取し分析を行った周辺の土壌 NO₃⁻の同位体組成も同時に示す。なお今回分析した土壌 NO₃⁻の同位体組成は Kendall et al. (2007) に報告される土壌 NO₃⁻と整合的であった。

まず、根から稈では、その濃度が根から離れるほど低くなることがわかった。さらに、この濃度変化に伴い $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ が増大することも明らかになった。一方 $\Delta^{17}\text{O}$ 値はあまり変化が見られず、その値はほぼゼロであった。この結果は、根から取り込まれた土壌 NO_3^- が、根から稈にかけて消費される際の同位体分別を反映していると考えられる。Fig. 2 で土壌 NO_3^- と稈と根の中の NO_3^- との間に見られる直線関係は閉鎖系下の同位体分別を示唆するものであり、本結論と整合的である。ただし、この直線の傾きは 0.66 であり、海洋の植物プランクトンの同化的硝酸還元一般において観測される同位体分別の傾き (1.0; Granger et al., 2004, 2008, 2010) とは有意に異なり、むしろ脱窒などの異化的硝酸還元の傾き (0.62) に近い。

ササには植物と根粒菌が結びついてできた菌根が共生していることが知られている (小川, 1997)。根粒菌は土壌微生物の一種で、植物から光合成産物もらい、代わりに窒素固定などによって獲得した無機態窒素を植物に供給すると言われている。一方で、根粒菌は窒素固定をする以外に脱窒を行う機構も報告されている。よってササの稈と根の NO_3^- は、主に根粒菌の異化的硝酸還元の影響を受けたものである可能性がある。

次に葉での傾向を見ると、その濃度は基部で高く、先端で低くなる。これに伴い、 $\delta^{15}\text{N}$ は低く、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\Delta^{17}\text{O}$ は大きくなっている。これは葉において、根と稈を通じて供給された土壌 NO_3^- と大気 NO_3^- が混合した結果であると思われる。特に Fig. 2 ではこの傾向が顕著に見られる。葉の $\Delta^{17}\text{O}$ から考えると、最大で葉の中の NO_3^- は約 4 割が大気 NO_3^- 由来であった。この結果は先行研究の葉を通して窒素取り込み作用と整合的であり (Lockwood et al., 2008; Sparks et al., 2003)、ササは大気 NO_3^- を体内に直接的に取り込むプロセスがあるとわかった。

また、当年生と越年生の部位による違いを見ると、同位体組成そのものや濃度については明確に異なっているものの、同位体組成の変化傾向には差はみられない (Fig. 2)。これは部位による同化もしくは混合の進行具合の違いを見ていると思われる。稈において、越年生にくらべ当年生の濃度が高い。このことは根からの土壌 NO_3^- が優先的に当年生の部位に運ばれていると考えられる。葉においては、特に末端において、越年生に比べ当年生の濃度が低い。これは、当年生の葉において、積極的に NO_3^- を同化しているからであると考えられる。つまりササは、越年生の部位ではあまり成長が進んでいなく、当年生の部位を積極的に成長させていると思われる。

4.2 大気 NO_3^- 寄与

本研究において行ったササの全観測データを Fig. 3 に示す。部位別の分類では全体的な傾向

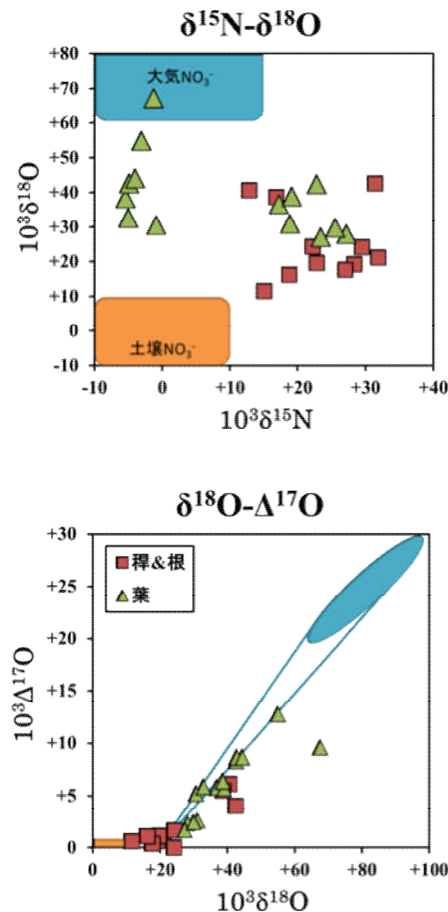


Fig. 3 ササの各部位別の NO_3^- の $\delta^{15}\text{N}$ - $\delta^{18}\text{O}$ 間 (上) および $\delta^{18}\text{O}$ - $\Delta^{17}\text{O}$ 間 (下) の関係 (全採取試料)

が不明瞭になるため、ここでは根・稈 (■印) と葉 (▲印) の 2 種類のみで分類してプロットしている。葉は三分割して分析していたので、それぞれの濃度と同位体組成を用いて加重平均値を求め、それをトータルの葉の値として取り扱った。

濃度の傾向は、前項と同様に、根や稈ほど高く、葉に行くほど低くなった。そして同位体組成を見ると、Fig. 3 の上図では土壌 NO_3^- から稈・根に向けて $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ が大きくなり、葉において大気 NO_3^- の組成に近づいているように見える。そこで $\Delta^{17}\text{O}$ と $\delta^{18}\text{O}$ の間の関係を見ると、根・稈で $\Delta^{17}\text{O}$ はほぼ不変であり、その間は同化による同位体分別によって、残った NO_3^- の $\delta^{18}\text{O}$ が増大していることがわかる。しかし、 $\delta^{18}\text{O}$ が約 +20‰ を境に $\Delta^{17}\text{O}$ も増大し、 $\delta^{18}\text{O}$ 値と同様に大気 NO_3^- の値に近づくことがわかる。つまりこの点から、土壌 NO_3^- に加えて大気 NO_3^- の混入が始まっていることがわかる。葉の中に占める大気 NO_3^- の寄与が最も大きい試料は、雨龍研究林泥川展望台にて 9 月に採取した葉であり、この時の $\Delta^{17}\text{O}$ は +12.8‰ に達した。これは、全 NO_3^- に占める大気 NO_3^- の寄与率が 50% 程度であったことを意味している。

しかし、混合が始まると考えられる $\delta^{18}\text{O} = +20\text{‰}$ 、 $\Delta^{17}\text{O} = 0\text{‰}$ の点と大気 NO_3^- として取り得る値を直線で結んだ範囲を混合領域とすると、今回測定した結果の中に、この領域から右方向に有意に外れる試料が複数存在することがわかる。このことは葉の内部においても同化が進行し、 NO_3^- が消費されたことを示す。つまり、葉の中では、土壌に由来する NO_3^- の残渣に対して、大気 NO_3^- が単に混入しているだけではなく、同時に同化過程による消費も進行していることを示唆する。特に、5月に札幌で採取した葉は単純混合で説明できる領域から大きく外れている。この試料は今回分析を行った中で、ササ全体での同化に対し、葉の中での大気 NO_3^- 同化の割合が最も高いと考えられる。よって最後にこの試料での葉の大気 NO_3^- 同化の寄与率を推定する。

まずは根・稈での同化過程における同位体分別に関して考える。札幌で採取したすべてのササの稈・根中の NO_3^- 濃度と $\delta^{15}\text{N}$ および $\delta^{18}\text{O}$ との関係のプロットした図が Fig. 4 である。この図が示すように、濃度の対数と $\delta^{15}\text{N}$ および $\delta^{18}\text{O}$ の間に直線関係が存在することがわかる。これは閉鎖系下の同化に伴う同位体分別を反映しており、この傾きは同化による同位体分別係数 ϵ に相当する。 $^{15}\epsilon$ は $+6.5\text{‰}$ 、 $^{18}\epsilon$ は $+3.2\text{‰}$ となった。 $^{15}\epsilon$ は同化の場合 $0 \sim +30\text{‰}$ 程度であることがフィールド実験や室内実験などで知られており (e.g.

Granger et al., 2004, Montoya et al., 1991)、今回の結果と整合的である。 $^{18}\epsilon$ に関する研究例は少ないが、 $^{15}\epsilon : ^{18}\epsilon$ の比が前項で考察した $\delta^{15}\text{N} - \delta^{18}\text{O}$ の傾き 0.6 に近くなっており、ササは普遍的に異化的硝酸還元の影響を受けた同化過程が進行していると考えられる。この同位体分別係数をもとに、根・稈での同化によって消費された土壌 NO_3^- の量を考える。大気 NO_3^- の最大寄与率を求めたいので、今回はまず土壌 NO_3^- の取り得る最大値である $\delta^{18}\text{O} = +10\text{‰}$ からスタートしたと考える。このことから、大気 NO_3^- と混合し始める $+20\text{‰}$ まで、同化によって $+10\text{‰}$ だけ大きくなったと想定できる。 $^{18}\epsilon = +3.2\text{‰}$ から、 $+10\text{‰}$ 変化させる場合、濃度はおよそ 1/20 に減少する。つまり、根から取り込まれた土壌 NO_3^- は根・稈の同化により 95%が消費され、残り 5%が葉まで送られたと考えられる。

次に葉での同化に関して考える。今回、対象として札幌で5月に採取したササの葉は $\Delta^{17}\text{O} = +9.4\text{‰}$ であり、大気 NO_3^- の混合率はおおよそ 40%であった。大気 NO_3^- が混合した後、同化によって葉の NO_3^- がほぼ使い切られたと考えられる。

根・稈の同化と葉の同化を合わせて、仮想的に量比を考える。まず土壌 NO_3^- が 120mol 根から取り込まれたとすると、そのうち 114mol が根・稈で同化され、残り 6mol が葉まで送られる。そして葉の中に大気 NO_3^- が 4mol 混入し、合計 10mol が葉で同化された。つまり、根から葉までのトータルとしてササの同化を考えた際、使われた NO_3^- は土壌 NO_3^- : 大気 $\text{NO}_3^- = 120 : 4$ であった。よって、大気 NO_3^- がササの同化に対して寄与した割合は最大で約 3%であるという事が明らかになかった。

4.3 結論

森林生態系における窒素循環の解明につなげるため、植物体内の NO_3^- の同位体組成を用いた大気 NO_3^- の寄与率定量及び体内での同化過程の推定を行った。

その結果、大気 NO_3^- が葉を通して直接体内に取り込まれていることが同位体組成からわかり、葉の中の NO_3^- は最大で 50%程度が大気 NO_3^- 起源であった。しかし、根から土壌 NO_3^- を体内に取り込み利用する過程も明確に見ることができ、植物体内で同化された割合で考えると、大気 NO_3^- が占める割合は最大で 3%程度と見積もられ、土壌 NO_3^- が主要窒素源であることが再確認された。

一連の研究において用いた NO_3^- の自然同位体組成、特に $\Delta^{17}\text{O}$ は複雑な生態系内での窒素循環を簡素化し、考察するために非常に有用な指標であることが明らかになった。今後、より多くの森林域での観測で利用されることが望まれる。

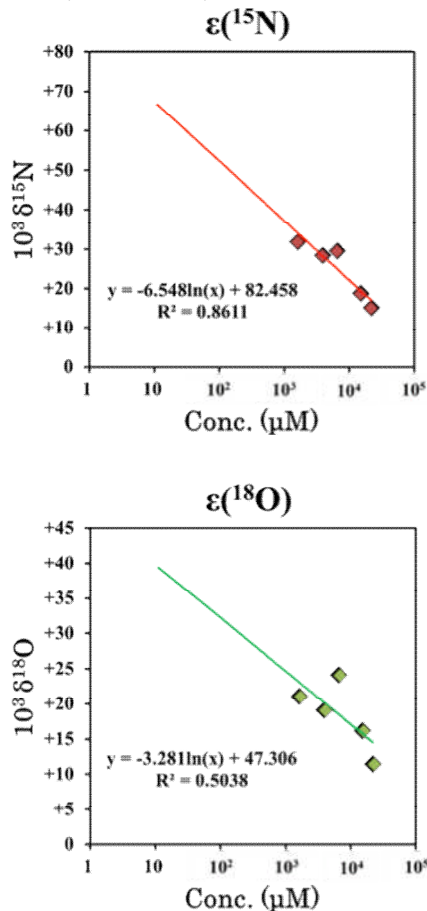


Fig. 4 稈・根での NO_3^- 同位体分別

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

Konno, U., U. Tsunogai, D.D. Komatsu, S. Daita, F. Nakagawa, A. Tsuda, T. Matsui, Y.-J. Eum and K. Suzuki (2010) Determination of total N₂ fixation rates in the ocean taking into account both the particulate and filtrate fractions. *Biogeosciences*, **7**, 2369-2377.

Tsunogai, U., S. Daita, D.D. Komatsu, F. Nakagawa, and A. Tanaka (2011) Quantifying nitrate dynamics in an oligotrophic lake using $\Delta^{17}\text{O}$. *Biogeosciences*, **8**, 687-702.

Yamazaki, A., T. Watanabe and U. Tsunogai (2011) Nitrogen isotopes of organic nitrogen in reef coral skeletons as a proxy of tropical nutrient dynamics. *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L19605, doi:10.1029/2011GL049053.

Komatsu, D.D., U. Tsunogai, K. Kamimura, U. Konno, T. Ishimura, and F. Nakagawa (2011) Stable hydrogen isotopic analysis of nanomolar molecular hydrogen by automatic multi-step gas chromatographic separation. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, **25**, 3351-3359.

[学会発表] (計 6 件)

Tsunogai, U., D.D. Komatsu, S. Daita, G.A. Kazemi, F. Nakagawa, I. Noguchi, and J. Zhang (2010) Tracing the fate of atmospheric nitrate deposited onto a forest ecosystem in eastern Asia using triple oxygen isotopes (solicited talk), European Geosciences Union General Assembly 2010, EGU2010-3841, Vienna, Austria, 02-07 May 2010.

Komatsu, D.D., S. Daita, U. Konno, S.B. Ohkubo, F. Nakagawa, and U. Tsunogai (2010) The oxygen isotope anomaly of nitrate as tracer of atmospheric nitrate in marine nitrogen cycling. European Geosciences Union General Assembly 2010, EGU2010-9246, Vienna, Austria, 02-07 May 2010.

Tsunogai, U., Daita, S., Komatsu, D.D., Nakagawa, F., Tanaka, A. (2010) Tracing the fate of atmospheric nitrate deposited onto an oligotrophic lake in eastern Asia (B51H-0459). 2010 AGU Fall Meeting, 13-17 December, Moscone Convention Center, San Francisco, California, USA.

角皆潤, 小松大祐, 中川書子「硝酸の三酸素同位体組成を指標に用いた水環境中の窒素循環の定量化：非培養・現場型の窒素同化速度定量法開発」日本地球惑星科学連合 2011 年大会、幕張メッセ国際会議場、2011

年 5 月 22 日 (招待講演)。

鈴木 敦之, 角皆潤, 中川 書子, 小松 大祐, 柴田 英昭, 福澤 加里部「植物体内に含まれる硝酸中に見つかった三酸素同位体異常」2011 年度日本地球化学会第 58 回年会、北海道大学学術交流会館、2011 年 9 月 14-16 日

Suzuki, A., U. Tsunogai, F. Nakagawa, D.D. Komatsu, H. Shibata, K. Fukuzawa (2011) Triple oxygen isotopic composition of nitrate in plants. Meeting on Isotope-ratio mass spectrometry, The Mass Spectrometry Society of Japan, Haeundae Grand Hotel in Busan, Korea, 23 November, 2011.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

角皆潤 (TSUNOGAI URUMU)

北海道大学・大学院理学研究院・准教授

研究者番号：50313367

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし