

## Nutrient cycling and limitation: Hawai'i as a model system 輪読会

27 January 2005 担当：清野達之

**第六章：ハワイ生態系への栄養塩の加入：経路，割合，制御****前口上**

ハワイ生態系を例に，陸上生態系への栄養塩元素の加入の経路と割合の報告．  
生物による窒素固定を除いて，栄養塩元素は基本的に母岩由来で生態系へ投与される．  
ハワイでは生態系の年代（=発達）によって，生物と地学的な相互関係から栄養塩元素が生態系に加入され，循環するのかが異なる．

**1 風化**

元素の生態系への加入：岩石の風化から始まる

風化：岩石起源の栄養塩の供給，イオン交換・吸着を介して土壌栄養塩の供給を規定．  
一次鉱物 風化 二次鉱物

ハワイでは火山活動による溶岩流の流出

ガラス，かんらん岩，単斜輝石，長石，磁鉄鉱系

ハワイ生態系では長石は2万年くらいでみられなくなり，100万年で非水晶系ミネラルが消失．410万年でカオリナイト（粘土鉱物で超微粒子のもの）へ．

1万年くらいから風化が進行し，その後は土壌の劣化が著しい．

**1-1 概念と定義**

風化：生態系への元素の加入

- 1) 一次鉱物における元素はそのままでは生物が利用できない．利用するためには風化が必要．
- 2) ハワイの年代傾度の長所は，それぞれの時間での元素の流失を現在の流量と独立した風化とみなすことができる．第7章で詳説．

一次・二次鉱物を経た風化過程での元素の生態系への加入

**1-2 アプローチ**

土壌の発達に伴う土壌の容積と量の両方の増加もしくは減少．

これだけでは成分の含有量には対応していない．

水和反応と有機物の増加，容積の増大：元素の含有量の増加．

土壤中の不動成分の相対量でこれらの流失を計算

Zr (ジルコニウム) を使った例

Nb (ニオブ), Ta (タンタラム) : 遷移元素で, あまり可動性はない.

図 6.1 ; 可動元素 (カルシウム), 小可動元素 (リン), 不動元素 (タンタラム) のニオブ (不動元素) に対する土壤中の含有量.

ニオブの増加 : 風化と土壤からの流失を反映

カルシウム : 急激に減少

リン : 比較的ゆっくり流失

式 6.1 ; 風化による元素の流失の推定式

地表から鉛直方向に向かったの流失分

式 6.2 ; 風化による元素の流失量

式 6.3 ; 母岩からの流失分

図 6.2 ; 基質年代傾度による土壤中のニオブの蓄積量

対数 ; 年代の進行とともに増加

実線 ; 母岩の結合力の程度

土壤プロファイル中の未風化の結合力

土壤プロファイルで風化土壤の厚さ (表土からの深さ)

2100 140 万年 ; わずかに風化, 1 m .

4100 万年以降 ; 5m 以下

式 6.4 ; 基質年代傾度での風化を経た元素の加入量

### 1-3 風化を経た元素の加入

風化を経て加入される元素の加入率とパタン 玄武岩と元素の流動性に依存

表 6.1

可動性 (Ca, Mg, K) ; 若い年代では急激に流失 . 古い年代では未風化のものから徐々に加入

不動性 (P, Al, Fe) ; 二次鉱物として土壤に残存

不動性の元素が古い年代サイトで比較的高い

図 6.3 ; カルシウムとリンの風化による流失と加入分

何故にハワイの年代傾度上の古いサイトでリンの利用と、カルシウムのような可動元素の利用がないところで、純一次生産が制限されるのか？（以降）

## 2 大気からの加入

### 2-1 背景

ここでは降水量，乾燥した堆積物，霧，その他の経路（大気中の粉塵，生物による窒素固定）について言及．

図 4.3；土壤中の全窒素は  $9800\text{kg ha}^{-1}$

生物によると想定される固定された窒素で  $20 \sim 35\text{kg ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$  の源が不明．

窒素固定測定の難しさ；大気からの堆積物が源になることもある．

要は大気中に含まれる窒素の源が分からない．

### 2-2 方法

降水量と化学成分分析，窒素ガスの測定，霧も考慮．

式 6.5；林冠から樹幹から出てくる霧の量

### 2-3 水の加入（300 年サイト）

雨から；年平均  $2500\text{mm}$

霧から；年平均  $1200\text{mm}$

### 2-4 窒素の加入

表 6.2；大気中から固定された窒素

雨の中の無機体の窒素； $0.86\text{kg ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$

霧の中の無機体の窒素； $5.0\text{kg ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$

無機体の窒素を若干含んでいる．火山ガスの影響を受け，時々極度に高くなる．

雨の中の有機体の窒素； $0.15\text{kg ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$

霧の中の有機体の窒素； $8.0\text{kg ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$

### 2-5 活火山の影響

火山ガス；二酸化硫黄，硫酸，弗化水素など．海中だと塩酸，塩素．

どのように窒素固定に貢献しているのかは不明

流れたての溶岩流表面で採取した窒素ガス； $200\text{ppb}$

$\text{N}_2$  から  $\text{NO}$  に固定できる高温 ( $1100$  ) のところ

$\text{NO}$ ；植物が利用できるものではなく，時間経過とともに二酸化窒素や硝酸が酸化して大気に放出される．

霧の中に放出される窒素が高いとき 火山ガスが大気に放出されたものだろう。

火山ガスの影響を受けた霧の中の窒素は  $2.4 \text{ kg N ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$

火山性の窒素；地域によっても時間的にも限られている（火山活動によるため）。

## 2-6 他の元素の加入

表 6.3；大気からの Cl, S, Ca, Mg, Na, K の加入

窒素；85%が霧から

リン，アルミニウム，鉄，弗素；最近の加入．弗素は空気中の火山ガスを知る良い  
トレーサー

塩素；活火山からのガスに塩酸や塩素が含まれるため

ナトリウム；海中で最も多い元素．雨や霧の中のナトリウムのほとんど海塩性

$\text{SO}_4\text{-S}$ ；火山ガスから

マグネシウム；海から

カリウム，カルシウム；非海塩性由来．カリウムは溶岩流によって焼かれた生物に  
由来．

窒素，リン；窒素の由来は不明．多分火山由来？

## 3 長距離粉塵の移動

### 3-1 背景

アジアからの粉塵（黄砂）によるハワイ生態系への元素の加入

### 3-2 方法

ハワイの玄武岩と大陸からの粉塵の3つの違い

1) 石英は粉塵の鉱物トレーサー

2) ネオジムの二つの同位体  $^{143}\text{Nd}$  と  $^{144}\text{Nd}$  の相対量は，ハワイ玄武岩で-8%，大陸  
ダストで+6%．

3) ユーロピウム属などの微量元素の含有率が両者で異なる

コハラ（ハワイ島北部；15万年）での黄砂加入量； $1.25 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  過小評価気味

### 3-3 元素の加入

黄砂の成分；地表面の成分と似た値になる．

表 6.4；黄砂の成分表

図 6.4；黄砂の加入量

黄砂を介した元素の加入は少ない；北半球で大きいが，ハワイまで届くものはさほど  
多くない．

とはいえ，古い年代のサイトでは無視できぬ量が供給されている（表 6.1）。

### 3-4 粉塵のその後

ニオブ；風化の度合いを推定する目安

410 万年サイト以内の年代傾度ではニオブの半分は粉塵由来

図 6.5；年代傾度毎の石英（鉱物由来）と粉塵由来のニオブの量

150 万年サイト以前では黄砂による加入なし　すでに溶脱．

- 1) 粉塵の加入は比較的新しい減少
- 2) 石英は 10 万年くらいで風化して加入
- 3) 粉塵は同じ時間スケールで溶脱して土壌表面からなくなる．  
海洋コアによるとダストは 360 万年くらいから加入している．  
ニオブの不動性．溶脱を考慮すると加入経路が異なる．

推察；ハワイの古環境が今とは違うため，風による溶脱過程に違いが生じている（昔は乾燥していた？）．

とにかく，粉塵由来のニオブは母岩由来のものと比較して僅か．

## 4 生物の窒素固定

### 4-1 背景

窒素固定；窒素制限下での生態系の発達と純一次生産において，窒素の加入はそれらを律則．

生物による窒素固定；高等植物では主にマメ科，藍藻類，一部のバクテリア．

ハワイに固有な植物で窒素固定できるものは少ない．*Acacia koa* など．ただし，乾燥しているところのみ．窒素固定できる地衣類 (*Stereocaulon vulcani*) が若い年代サイトの溶岩上でみられる程度．

### 4-2 アプローチ

アセチレン還元活性法で窒素固定酵素の活性をみる．

- 1) それぞれの基質（リター中の葉や材）の量や場所にどれだけあるのか？
- 2) アセチレン還元の割合
- 3) アセチレン還元  $^{15}\text{N}$  で標識した  $\text{N}_2$  のアセチレン還元による固定　固定能をみる

### 4-3 固定の割合

Crew *et al.* (2000) によるハワイフトモモの葉リターでの報告

300年サイトで  $1.2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$   
 2100年サイトで  $0.6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$   
 古いサイトでは  $0.2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  以下

Matzek & Vitousek (2003) の地衣類や着生などの活性

堆積している材からは  $0.1 \sim 0.5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$

地衣類・着生からは  $0.1 \sim 0.8 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$

葉のリターでは特別な傾向はない サイトでの窒素・リン制限が影響

結論；窒素固定能は  $0.1 \sim 1.5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$

図 6.6；年代傾度による窒素固定能の違い

生物による窒素固定は，年代を通して霧からの窒素加入よりも少ない。

## 5 他の加入

火山灰，局所的な塵芥，海鳥の巣など；よく分からない

## 6 既知の複合加入

生態系の発達と土壌の風化による元素の加入；どこから，どのように，が重要  
 既述した以外の経路などは？

### 6-1 ストロンチウム同位体：加入経路の直接検討

ストロンチウム；アルカリ性の元素．カルシウムやマグネシウムの循環と類似．

ハワイの生態系では均等に存在

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  の同位体比；母岩では 0.7036

海洋エアロゾルでは 0.7092

黄砂では  $0.714 \sim 0.722$  ( だいたい 0.717 )

図 6.7；年間のストロンチウム加入

若い年代サイトでは母岩から，古い年代サイトでは大気から

大気からの加入はおおよそ一定

ストロンチウムの生態系での残存時間は短い；ハワイフトモモの葉の同位体比

### 6-2 塩素と硫酸塩

塩素；海水で最も多い．

図 6.8；塩素と硫酸塩の加入量と経路

塩素；大気からほとんど

硫酸塩；若い年代サイトでは火山，それ以外では大気から．土壌風化からは少．

### 6-3 置換性陽イオン

図 6.9 ; カルシウムとマグネシウムの年代傾度毎の加入量と経路

若いサイトでは土壌風化から .  
カルシウム ; 非海塩性のものがほとんど .

図 6.10 ; ナトリウムとカリウムの年代傾度毎の加入量と経路

ナトリウム ; 大気から加入  
カリウム ; 若いサイト ( 300 年 ) では風化からが 40% . それ以降は大気由来 . 古いサイトは降水涵養性 .

### 6-4 シリコンとアルミニウム

図 6.11 ; シリコンとアルミニウムの年代傾度毎の加入量と経路

シリコン ; 風化由来は急激に減少  
アルミニウム ; 二次鉱物として残る . 粉塵が古い年代サイトで重要  
両者ともに風化が重要な加入経路

### 6-5 窒素とリン

窒素とリン ; 生態系の発達を制御する元素 . 窒素は生物 , リンは母岩由来 .

図 6.12 ; 窒素とリンの年代傾度毎の加入量と経路

窒素 ; 若い年代サイトでは火山噴火による  $N_2$  ガスの固定がある . 全サイトでの霧の寄与が大きい .  
窒素固定 ; 土壌発達とともに微増 .  
リン ; 風化由来がほとんど . 生態系の発達とともにリン制限になる .  
量がさほど多くない . 黄砂の量もさほど多くない .