

## 第5章 屋久島の水・土環境の実態評価

### 5. 1 はじめに

本章では、遺産登録されたもう一つの世界自然遺産地域である鹿児島県屋久島の自然環境の魅力を水・土環境の実態評価を通して論述する。白神山地と同様の論旨構成を組み立て、世界的にも稀な樹齢 7,200 年の縄文杉を始め数千年の屋久杉が群生し、原生照葉樹林が密林する「太古の島」、「巨樹林の島」、「生命の島」などと形容される屋久島の自然環境創世術の一端を解明することに迫っている。島内一円で採水・採取した降水 (32 サンプル)、自然水 (91 サンプル)、土 (88 サンプル) を対象に、自然環境を左右する重要な因子であるこれら 3 因子について、基本的な化学物性から元素レベルに至る化学成分組成に関して議論すると共に、3 因子間にわたる横断的な考察を加え、化学組成の供給起源や環境的要因などとの因果関係についての究明を試みている。屋久島は遺産登録以降も、白神山地のような審査許可制による入山システムをとることなく、自由に多くの入島者や入山者を受け入れている。遺産登録以降入島者や入山者は急増し、近年では入島者は年間約 30 万人に達し、そのうち遺産登録地域の山岳域への入山者は約 5 万人といわれ、特に人気の高い登山ルートには入山者が集中し、1 日 300 人を超える日もあるとされる。そのため屋久島では、トイレ、避難小屋(トイレ付き)、キャンプ場、登山道沿い等での人為的要因による周辺環境に及ぼす影響が顕在化しつつある。やはり白神山地と同様に、「山の水場」汚染問題が深刻な懸案事項となっていることから、島内一円での硝酸性窒素とアンモニア性窒素の両窒素態の濃度状況を評価し、環境汚染的視点からその実態や供給要因等について論じている。さらに 1994 年に実施した調査での両窒素態に関する分析データとの検証から、ほぼ 10 年経過後の入山的負荷の経年的蓄積効果についても考察を試みている。

### 5. 2 降水の特性

#### 5. 2. 1 年間降水量

屋久島には、春に梅雨、夏に台風、秋に秋雨前線、冬に北西季節風といった具合に一年中雨が降る環境が整っている。島を取り囲む黒潮の海から発生する水蒸気が大気の流れに乗って、洋上のアルプスと呼ばれる急峻な峰々を一気に駆け上

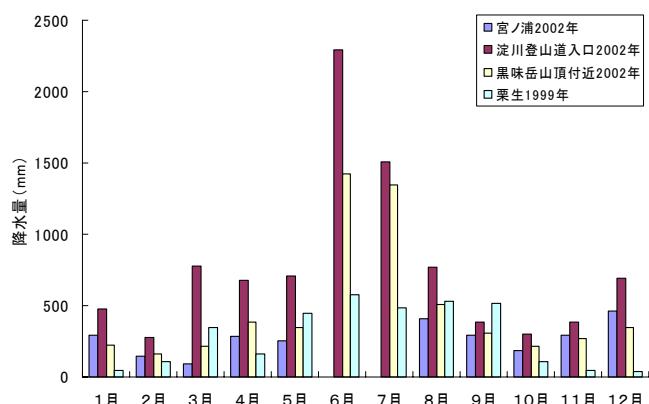


図 5-1 屋久島地域の平均月間降水量

がるため大量の雲霧が形成され、豊かな降水をもたらすのが屋久島独特の地象的な特徴である。また、屋久島の海岸沿いや海側平地など標高の低い地域は亜熱帯北端の気候であるが、標高 2,000m に近い山岳域山頂付近では亜寒帯に近い気候で 12 月～2 月頃にかけては雪が降ることもある。図 5-1 と図 5-2 は、2002 年に宮之浦（標高 5m）、淀川登山口（標高 1,380m）、黒味岳山頂付近（1,800m）と 1999 年に小瀬田（標高 10m）で観測された月間降水量と年間累積降水量を示している。観測データについては、屋久島森林保全センターが実施したものを利用している<sup>20)</sup>。なお宮之浦での 7 と 8 月の観測データが欠落していたので、標高のほぼ近い地点でのデータとして、1999 年に観測された島南西部に位置する栗生の観測データだけを提示している。図 5-1 に示す月別降水量をみると、黒味岳や宮之浦岳の登山口にあたり、標高 1,380m の淀川登山口では、かなり高い降水量を示していることがわかる。特に梅雨時期も 6 月には 2,294.5mm を記録しており、6 月中の降水量だけで全国平均年間降水量の約 1,700mm を超えている。同様に標高 1,800m の黒味岳山頂付近でも 6 と 7 月には 1,300mm を超える高い降水量を示している。図 5-2 での各月毎に累積した降水量をみると、山岳域である淀川登山口と黒味岳山頂付近では高い降水量で推移し、年間降水量はそれぞれ 9,253mm と 5,742mm に達しており、全国平均値の 3～5 倍もの降水量となっている。なお海岸沿い平地部の栗生では 3,401mm の年間降水量を示している。栗生でのこの降水量は山岳域での降水量と比べるとはるかに低い値ではあるが、それでも全国平均値の 2 倍となっている。このことからも屋久島は、海岸沿い平地部から山岳部にわたる島全域で、いかに降水量に恵まれているかが窺われる。

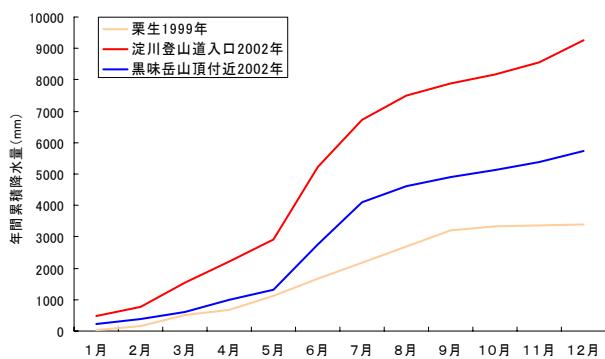


図 5-2 屋久島地域の平均年間累積降水量

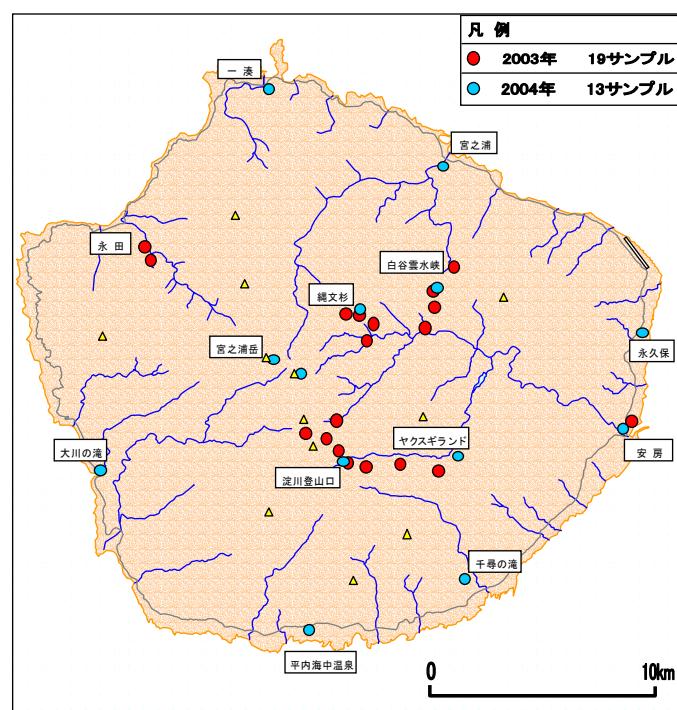


図 5-3 屋久島での降水の採水位置

## 5. 2. 2 化学組成

屋久島の島内全域で 2003 年 7 月に 19 サンプル、2004 年 8 月に 13 サンプル、総計 32 サンプルを採水している。いずれのサンプルも両期間中に採水した一過性の降水である。その採水地点を図 5-3 に示している。降水はすべて雨水で、山岳部から平地部まで広範囲にわたって採水している。山岳域では白谷雲水峡から縄文杉にかけてと、ヤクスギランドから淀川登山口、さらに宮之浦岳にかけての地点で採水している。平地部では島を周回するように、宮之浦、永久保、安房、千尋の滝、平内海中温泉、大川の滝、永田、一湊の海沿いの地点で採水している。以下に採水した降水の化学分析結果について考察する。

まず図 5-4 と図 5-5 には、降水の水素イオン濃度 (pH) と電気伝導率 (EC) をプロットしている。図 5-4 に示すように、屋久島で採水した降水の水素イオン濃度 (pH) は 4.94~7.08 範囲にあり、6 前後の値を示すサンプルが多くみられ、平均値は 6.04 である。酸性雨と定義される pH の値が 5.6 以下のサンプルについては、32 サンプルのうち 4 サンプルで確認された。観測された地点はヤクスギランド (pH=4.96)、紀元杉 (5.49)、白谷小屋 (5.2)、安房港付近 (4.94) の 4 地点であり、平野部だけでなく山岳部でも観測された。降水の採水時季は 2003 年 7 月と 2004 年 8 月であり、いずれも夏季に集中している。pH 値については、大陸越境で飛来する化学物質の影響や季節的な変化で変動することが知られている。当然、長期的な定点観測に基づくモニタリング調査は必要であり、降水の酸性化の進行状況についてここで論じることは難しいが、今回の結果からは、少なくともとも頻繁に酸性雨が観測される都心部などでの降水に比較すると、屋久島の降水は思ったより酸性化が進行していないように思われる。

次に図 5-5 で降水の電気伝導率 (EC) をみると、2~95  $\mu\text{S}/\text{cm}$  範囲にあり、平均値は 29.4

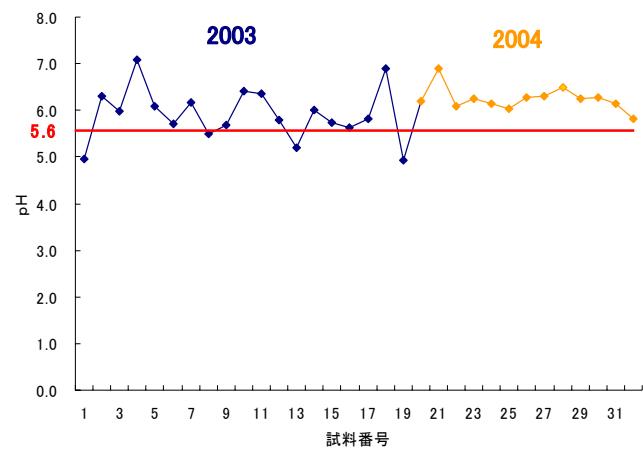


図 5-4 降水の水素イオン濃度 (pH)

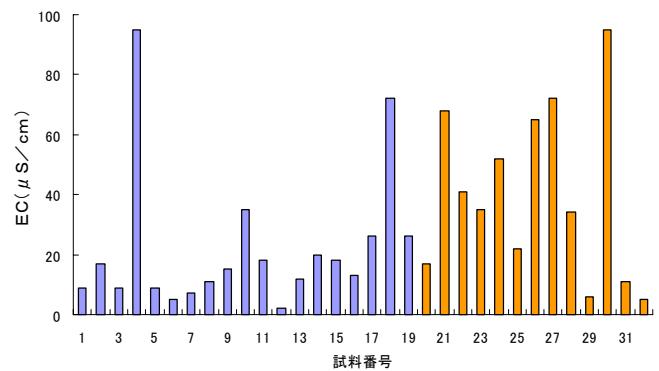
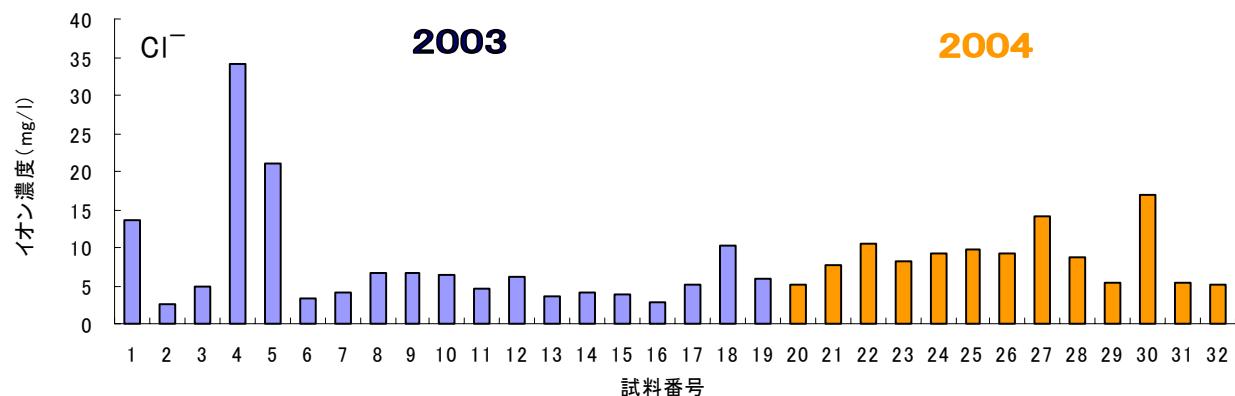
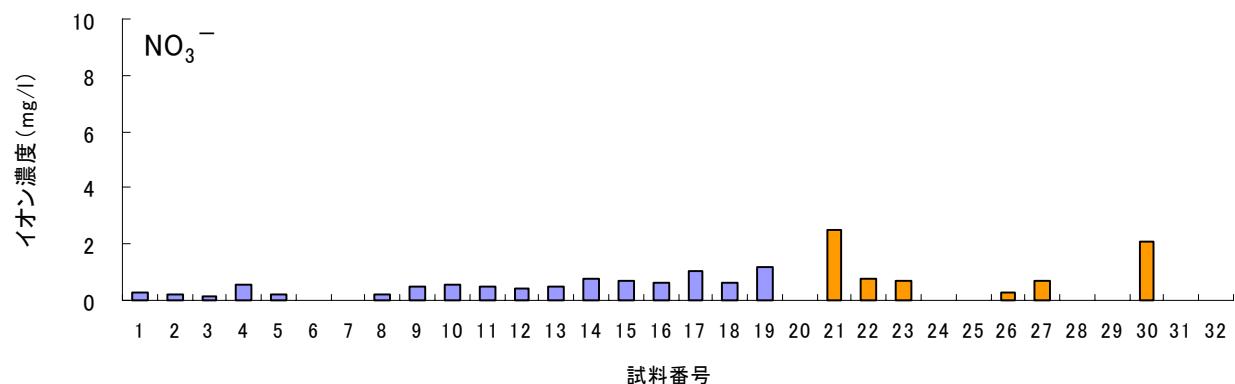


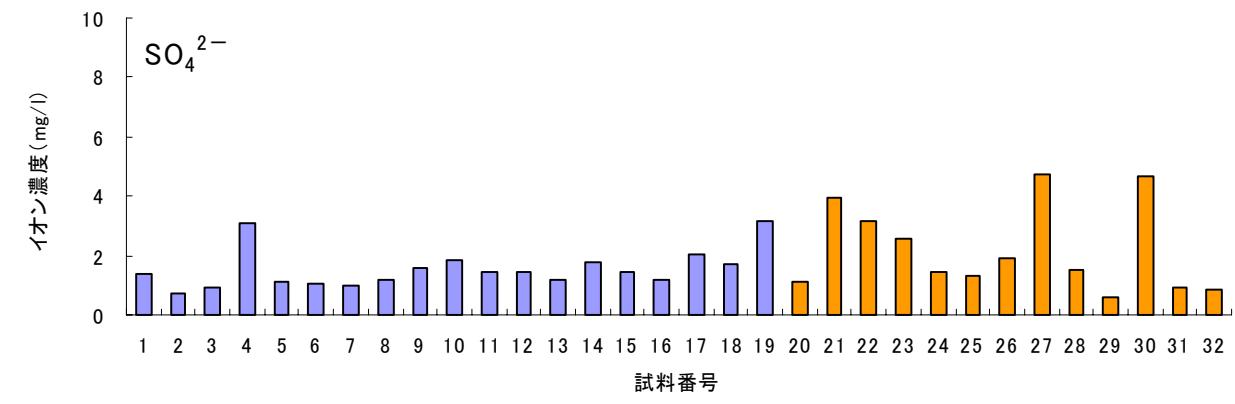
図 5-5 降水の電気伝導率 (EC)



(a) 塩素イオン



(b) 硝酸イオン



(c) 硫酸イオン

図 5-6 降水の溶存陰イオン

$\mu\text{S}/\text{cm}$  と第 4 章の白神山地での結果と比べるとかなり低い値を呈している。屋久島の気候的な特性を考えると、海から蒸発した水蒸気が急峻な地形を形成する山々を急上昇することにより、一気に冷やされ降水となるため大気中における滞留期間が少なく、化学物質の溶解などが比較的少ないものと考えられる。しかし No. 4 (石塚小屋)、No. 18 (永田岳登山道入口奥)、No. 21 (宮之浦岳山頂)、No. 26 (平内海中温泉)、No. 27 (宮之浦川河口)、No. 30 (布引の滝) で

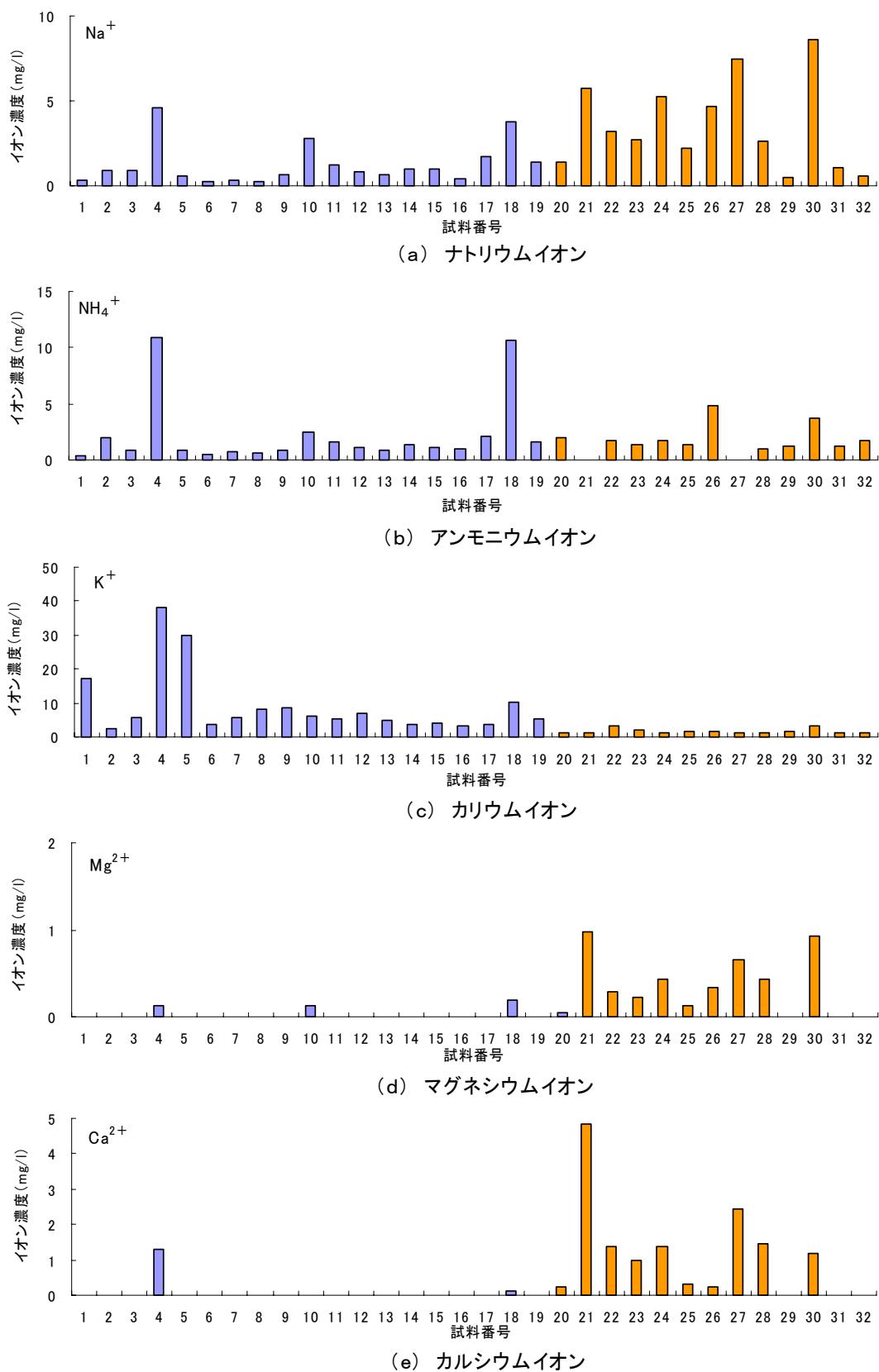
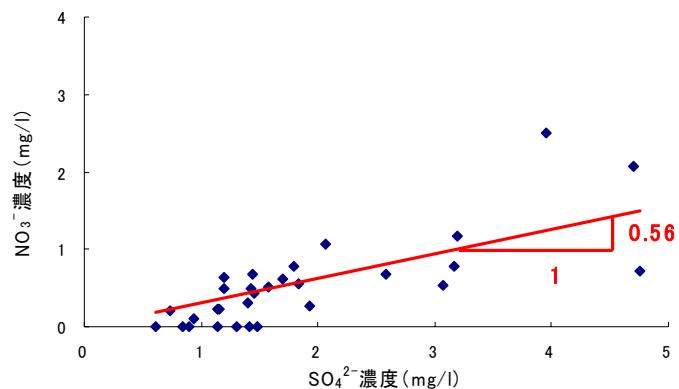


図 5-7 降水の溶存陽イオン

は、 $60 \mu \text{S}/\text{cm}$  以上の比較的高い値を示している。これらの地点は、島の東西南北及び中央部にわたっており、地点的な違いによる影響とは思われない。屋久島は周囲を海に囲まれた島であり、屋久島における降水は、海塩粒子飛沫の混入などによりナトリウムイオン ( $\text{Na}^+$ ) や塩素イオン ( $\text{Cl}^-$ ) を多く含んだ水質を示すと考えられる。

そこで、降水に溶解している主要なイオン濃度の状況を陰イオンと陽イオンに区分してそれぞれ示したのが図 5-6 と図 5-7 である。陰イオンの場合には塩素イオン ( $\text{Cl}^-$ )、硝酸イオン ( $\text{NO}_3^-$ )、硫酸イオン ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) について、陽イオンの場合にはナトリウムイオン ( $\text{Na}^+$ )、アンモニウムイオン ( $\text{NH}_4^+$ )、カリウムイオン ( $\text{K}^+$ )、マグネシウムイオン ( $\text{Mg}^{2+}$ )、カルシウムイオン ( $\text{Ca}^{2+}$ ) について示している。陰イオンの濃度状況をみると、総じて塩素イオン、硫酸イオン、硝酸イオンの順で溶存量が高くなっている。塩素イオンは、 $5 \sim 10 \text{mg/l}$  範囲で溶存しており、海塩粒子飛沫の混入が主な要因と考えられる。供給起源が人為的要因とされる硝酸イオンはほとんど  $1 \text{mg/l}$  以下の低い値であるが、しかし 32 地点のうち 23 地点 (約 72%) で検出されている。硫酸イオンは  $2 \text{mg/l}$  以下であるが、数サンプルでそれを超える高い値が検出されている。硫酸イオンはナトリウムイオンや塩素イオンと同様に、海塩粒子飛沫の混入が供給要因の一つともなっている。

なお図 5-8 で硫酸と硝酸イオンの溶存量比率をみると、ばらつきは認められるが屋久島の降水の場合、概ね  $1 : 0.56$  で硫酸イオンが硝酸イオンの約 2 倍の溶存量となっていることがわかる。ちなみに白神山地での降水ではこの比率は概ね  $1 : 0.22$  であった (図 4-8 参照)。両イオンは降水の酸性化を促進させる主要なイオン成分である。硝酸イオンの供給は人為的要因に起因するが、硫酸イオンには人為的要因に加え、海塩粒子飛沫からの供給源もある。海塩起源による供給量 ( $\text{SO}_4^{2-} = 0.251\text{Na}^+$ ) はナトリウムイオン量から算定できるので、その量を試算したのが図 5-9 である。すべてのプロットは



直線式の上方に位置しており、直線からの隔たりが大きいプロットほど、非海塩起源(主に人为的要因)による硫酸イオンの供給量が高いことを意味している。非海塩起源の硫酸イオン濃度は0.5～2.88mg/l範囲で、平均値は

1.27mg/lであった。図5-10で示すように、硫酸イオンと非海塩起源の硫酸イオン( $nss-SO_4^{2-}$ )の比は1:0.81と近似され、屋久島の降水では硫酸イオンの約8割が非海塩起源(主に人为的要因)によっていることがわかる。ちなみに白神山地での降水の場合には、両者の比は1:0.88と近似されている(図4-10参照)。一過性の降水の分析結果ではあるがこのような考察からも、白神山地同様に、屋久島の降水にも人为的要因の影響があることが理解される。

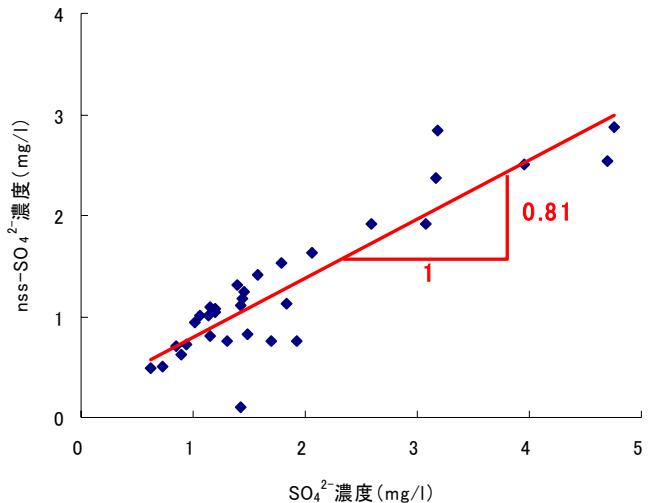


図5-10  $SO_4^{2-}$ と  $nss-SO_4^{2-}$ の関係

一方、陽イオンの場合には各サンプルで、概ね、ナトリウム、カリウム、アンモニウム、カルシウム、マグネシウムイオンの順に溶存量が高い傾向にある。ナトリウムイオンは海塩粒子飛沫による供給が主因で塩素イオンと呼応して高い濃度を示している。カリウムイオンはナトリウムイオンに匹敵する高い濃度を示し、すべてのサンプルで1mg/l以上の濃度を示している。特にNo. 4(石塚小屋)とNo. 5(淀川小屋)では30mg/lを超える突出した値が検出されている。幹流水などで比較的高い濃度が検出されることから、両採水地点が山岳部でもあるため、樹木からの飛来物質の溶解による要因も考えられるが原因は不明である。アンモニウムイオンは家畜の排泄物等による自然起源以外の供給源が主因となっているイオン成分である。大半のサンプルは2mg/l以下の濃度ではあるが、2サンプルを除いたすべてのサンプルで検出されている。No. 4(石塚小屋)とNo. 18(永田登山入口奥)では10mg/lを超えるかなり高い値を検出している。両サンプルでは他の陽陰イオンをみても総じて溶存量が高いため、EC値も非常に高い(図5-5参照)。この原因についても不明である。マグネシウムとカルシウムの場合は、溶存量の傾向が互いに類似しておりほぼ1～2mg/l以下である。地点によっては検出されない場合も多いが、No. 21(宮之浦岳山頂)、No. 27(宮之浦川河口)、No. 30(布引の滝)では比較的高い値が検出されている。海塩粒子飛沫や土粉塵などが主な供給源とされている。

## 5. 3 自然水の化学組成

### 5. 3. 1 自然水の概要

5.2 節で述べたように、屋久島は一年を通して多量の降水が島内に降り注ぐ。この降水が屋久島に豊富な自然水（河川水、溪流水、瀑布水、湧水など）の恵みをもたらしている。屋久島はその地形的な特徴から、我が国では最も急峻な河床勾配を有する河川が発達している。例えば宮之浦岳山頂付近を源流域とする安房川は河口までの距離が 20km と短長で、一気に 1,900m の標高差を流落している<sup>21)</sup>。この水循環の急速さが清冽な自然水を豊富に育む要因ともなっている。屋久島の山岳域を流れる溪流水や湧水は、ほとんどすべてそのまま飲水して喉を潤すことができる。そのような水環境を創世している自然水を島一円から採水している（図 5-11）。2003 年 7 月には 76 サンプル、2004 年 8 月には 15 サンプルを採水し、分析対象とした自然水の総数は 91 サンプルである。2004 年 8 月の調査では、「山の水場」の水質汚染問題を念頭に置いて、山岳部のトイレや避難小屋周辺にも留意して自然水の採水を試みている。採水した自然水は縄文杉、宮之浦岳、本富岳、太忠岳、愛子岳などの登山道沿いの溪流水や湧水、島を代表する宮之浦川や安房川などの主要河川の河川水、人気の高い大瀑布の大川の滝や千尋の滝などの瀑布水、さらに旧環境庁指定の名水百選である宮之浦岳流水域の湧水などである。現地調査の際には、自然水の水素イオン濃度（pH）、電気伝導率（EC）、水温（T）を計測し、採水地点の標高を記録した。屋久島での自然水の採水地点は標高 0～1,875m 範囲にわたっており、山岳域から海岸の河口域付近までに及んでいる。自然水の水形態は河川水・溪流水の流水が 68 サンプル、湧水が 17 サンプル、瀑布水が 5 サンプル、地下水が 1 サンプル

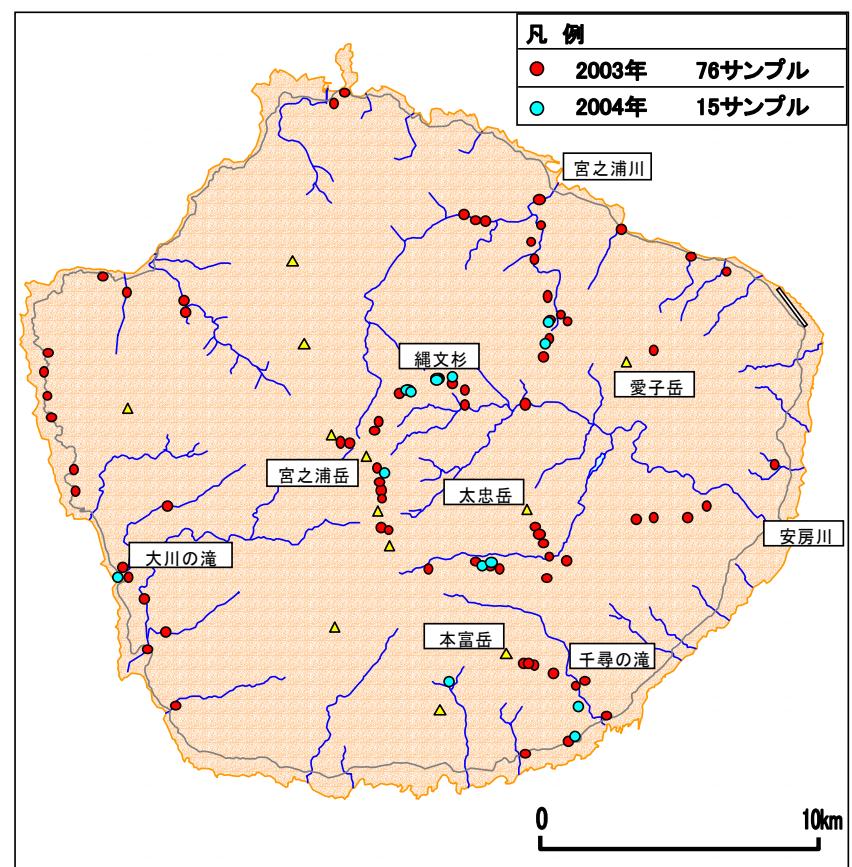


図 5-11 屋久島での自然水の採水地点

である。

### 5. 3. 2 水素イオン濃度 (pH) と電気伝導率 (EC)

屋久島の島内 91 箇所の採水地点で、現地計測した自然水の水素イオン濃度 (pH) と電気伝導率 (EC) を採水地点の標高との関係で、

図 5-12 と図 5-13 に示している。自然水の pH は採水地点の標高にかかわらず、ほとんどが 6.5~7.2 範囲の弱酸性から弱アルカリ性を呈しており、平均値は 6.74 の弱酸性側の水素イオン濃度となっている。図 5-12 での標高 1,000m 付近にある No. 85 は新高塚小屋トイレ下流約 5m の地点で採水した自然水で、中でも pH は 4.24 と取り分け低い値を示している。トイレ(垂れ流し地下浸透型)下流ということもあり、地下浸透した排泄物に起因して、土中でアンモニウムイオンが酸化作用を受けることで、水の水素イオン濃度が増加し pH が低下したとも考えられるが、詳細は不明である。

次に図 5-13 での自然水の電気伝導率 (EC) と標高との関係をみると、屋久島で採水した自然水の EC 値は 12~167  $\mu$  S/cm 範囲で、平均値は 42.38  $\mu$  S/cm と、総じて山岳特有のかなり低い値を示している。前節で述べた降水の EC の平均値が 29.4  $\mu$  S/cm であることを考えると、屋久島での自然水の溶存イオン量は降水のそれにかなり近いことが窺われる。標高 400~1,800m 間の山岳部での EC 値が特に低く、ほとんどは 50  $\mu$  S/cm 以下の低い値となっている。およそ標高 400m 以下から平野部にかけての自然水では 100  $\mu$  S/cm を超えるサンプルもみられる。また標高とは別に位置的な関係からみると、高い値を示しているのは西部林道から永田にかけて採水した島西部側の 8 地点 (63~124  $\mu$  S/cm、平均値 94  $\mu$  S/cm) と大川の滝 (106  $\mu$  S/cm)、栗生川 (117  $\mu$  S/cm)、山河湧水 (109

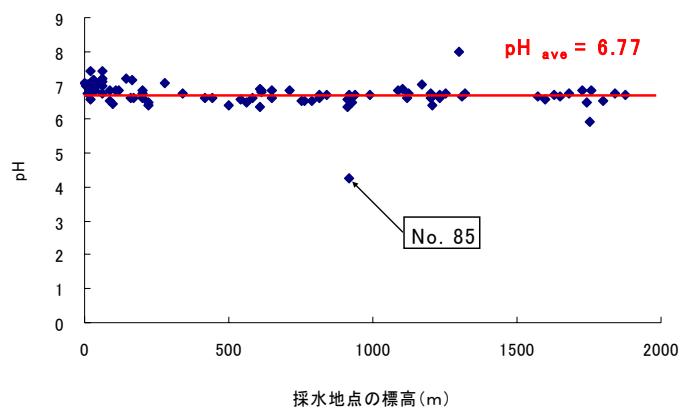


図 5-12 自然水の pH と標高の関係

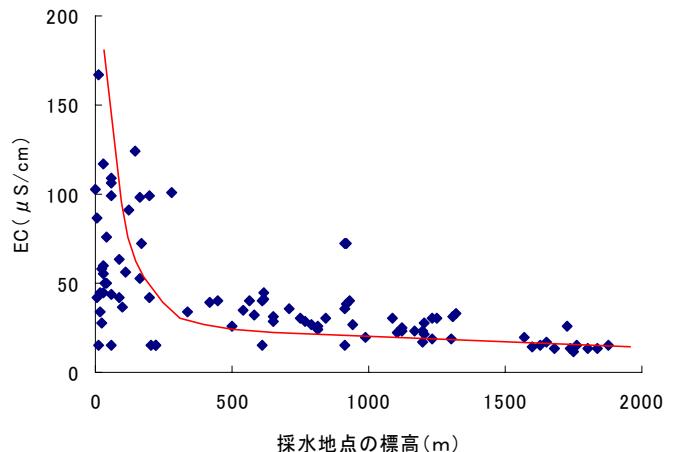


図 5-13 自然水の EC と標高の関係

$\mu\text{S}/\text{cm}$ ) などで、全平均値( $42.38\mu\text{S}/\text{cm}$ )の2倍を超える値を示した。西部林道は屋久島の中でも特に照葉樹林の原生的な自然が残されている地域であり樹木が密林している。このような西部林道の密な樹冠に、飛沫物質や汚染降下物質が付着し活発な蒸発散作用で濃縮された後、降水で洗われ地表に流下しやがて河川などの自然水に流入するという報告もなされている<sup>22)</sup>。大川の滝の場合も西部林道近くにあるので上流部の河川に飛来物質の混入があった可能性もある。栗生川の場合は、集落のある河口付近で採水した河川水であることから、海塩の影響や生活排水の混入なども考えられる。島南側にある山河湧水の場合は、地下浸透して湧き出している湧水なので、浸透過程に地層から供給されるミネラル成分の要因で EC 値が高くなったとも思われる。なお人為的要因も考えられるが標高 1,000m 付近の新高塚小屋周辺部 (No. 84) と新高塚小屋トイレ下流部 (No. 85) の自然水でも比較的高い EC 値が検出されている。

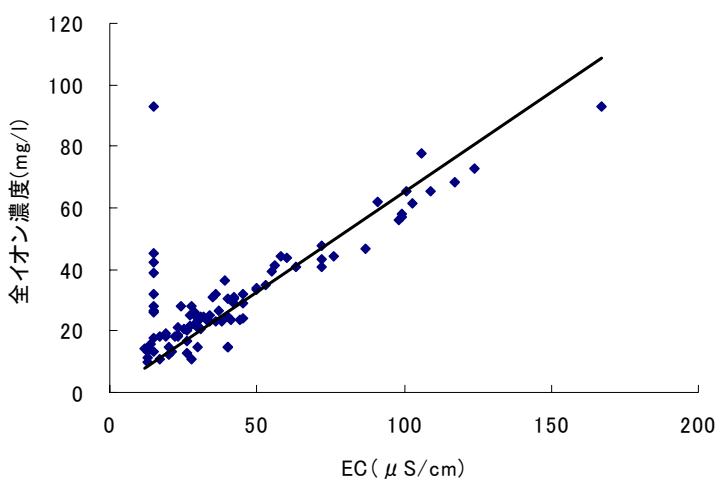


図 5-14 自然水の全イオン濃度と EC の関係

図 5-14 に示すように、自然水の EC 値は全イオン濃度と強い相関性があることから、次節では、自然水の EC 値を支配している主要な溶存化学成分量の評価を試み、自然水の化学組成について考察を深める。

### 5. 3. 3 主溶存化学成分

ここでは主溶存化学成分として、陰イオンは塩素イオン ( $\text{Cl}^-$ )、硝酸イオン ( $\text{NO}_3^-$ )、硫酸イオン ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) を、陽イオンはナトリウムイオン ( $\text{Na}^+$ )、アンモニウムイオン ( $\text{NH}_4^+$ )、カリウムイオン ( $\text{K}^+$ )、マグネシウムイオン ( $\text{Mg}^{2+}$ )、カルシウムイオン ( $\text{Ca}^{2+}$ ) を対象としている。

図 5-15 と図 5-16 には、各自然水の陰・陽イオンの溶存濃度の状況を 2003 年と 2004 年の採水年毎に色分けして示している。

まず各陰イオン ( $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ ) の溶存濃度についてみると、塩素イオン ( $\text{Cl}^-$ ) 濃度は、 $2.57\sim28.28\text{mg}/\text{l}$  範囲にあり、平均値は  $9.09\text{mg}/\text{l}$  である。自然水の EC が高い値を示していた No. 21～No. 26、No. 65、No. 66 (西部林道で採水した流水や湧水)、No. 79 (大川の滝)、No. 16 (栗生川)、No. 13、No. 78 (山河湧水)、No. 84 (山岳地域の新高塚小屋) などで  $20\text{mg}/\text{l}$  前後の

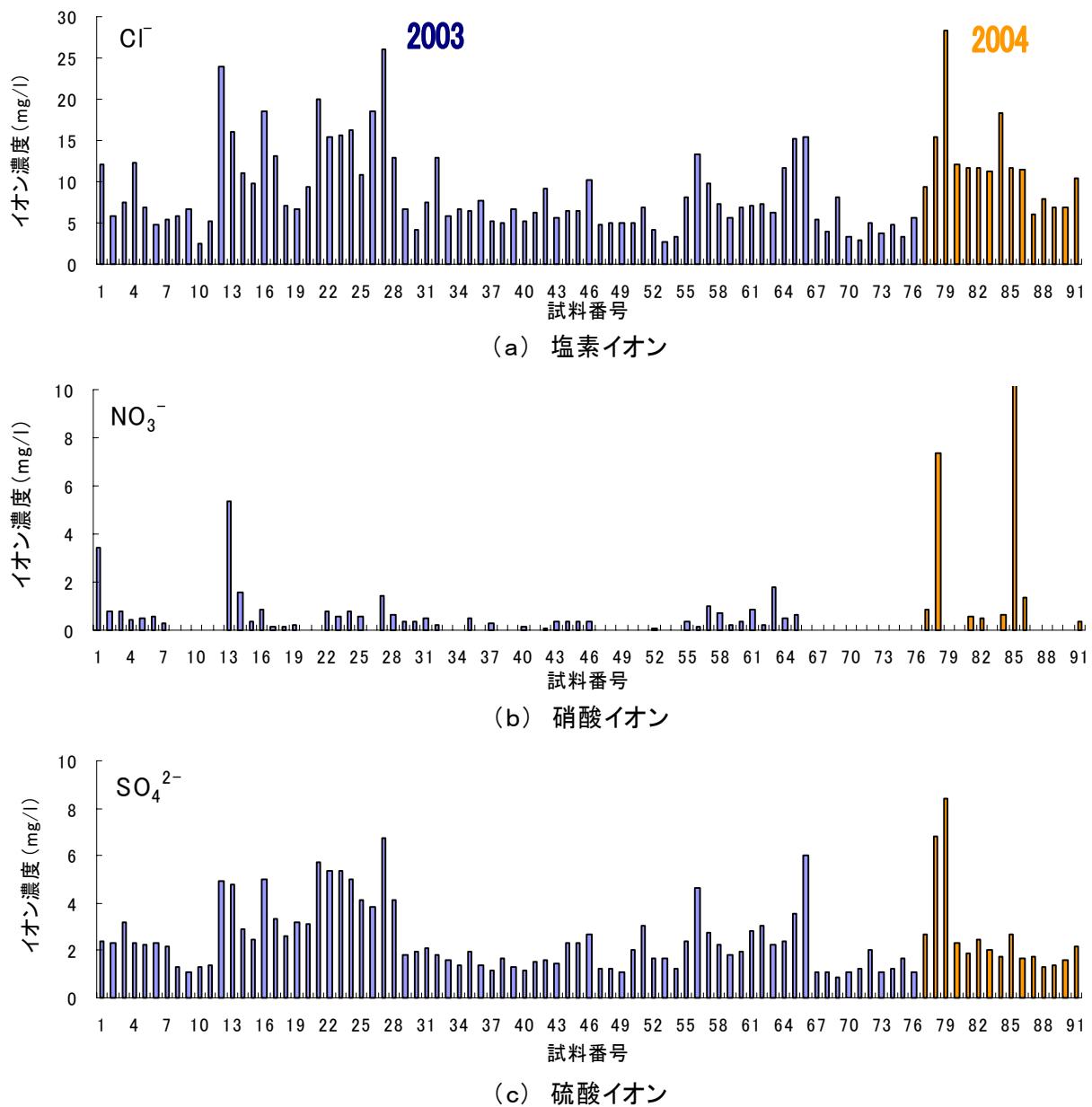


図 5-15 自然水の溶存陰イオン

値を示している。屋久島は海に囲まれているため海塩起源による自然的な供給要因が主体と思われる。そこでほぼ海岸から離れるほど標高が高くなる地形なので、採水地点の標高との関係で塩素イオン濃度を再整理したのが図 5-17 である。多少のばらつきはあるが、海岸沿いの平地部から中央山岳部へと標高が高くなるにつれ塩素イオン濃度が低下する傾向にあり、海塩起源による供給が主体であることがうなづける。なお中央山岳部の新高塚小屋(約 20mg/l)では、その周辺の自然水の塩素イオン濃度が 5mg/l 前後であることから考えると、またトイレ付近ということもあり他の硝酸イオンなどの成分濃度も高いことから、排泄物や排水などの人為的要因で高い値を示したことも考えられる。

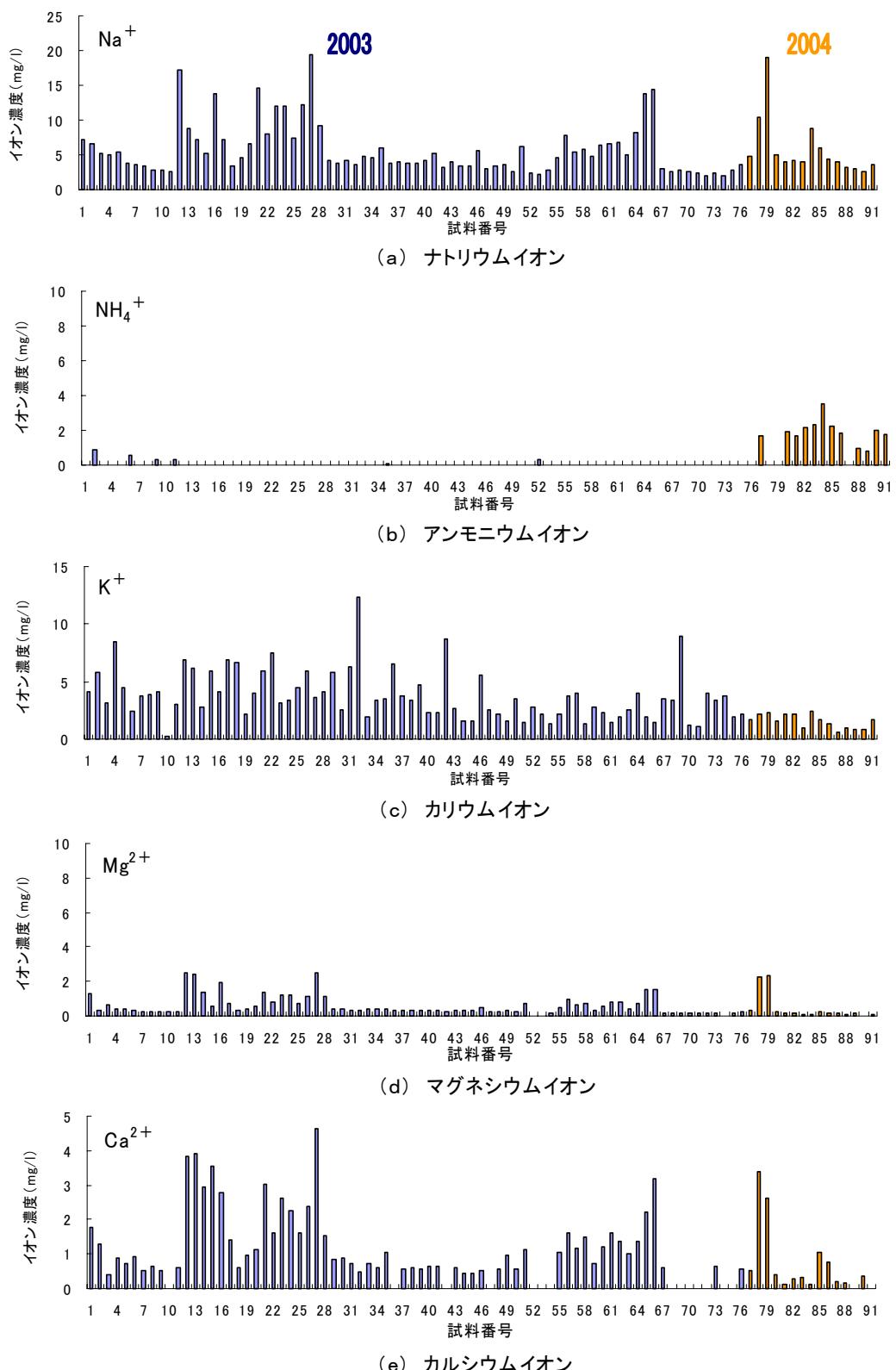


図 5-16 自然水の溶存陽イオン

硝酸イオン ( $\text{NO}_3^-$ ) は 91 サンプル中 52 サンプル (約 57%) で検出され、その濃度は 1mg/l 未満がほとんどであるが、No. 13 と No. 78 (山河湧水) ではそれぞれ 5.32mg/l と 7.39mg/l、No. 85 (新高塚小屋) では 17.51mg/l とかなり高い値が検出されている。これらの地点での硝酸イオン濃度を硝酸性窒素濃度に換算すると、それぞれ 1.2mg/l、1.67mg/l、3.95mg/l となる。いずれの検出値も旧環境庁が指定する水道水の水質基準値である 10mg/l を下回っている。しかし現在全国的に深刻化しつつある「山の水場」汚染問題がクローズアップされているように、硝酸イオンの場合水質汚染指標ともなるので、供給源に人為的要因が関与しているのか否かを判定し対策を講じることが重要と考えられる。後述する 5.5 節では、硝酸性窒素とアンモニア性窒素の実態に言及し、屋久島での自然水や水場の汚染問題について考察している。

硫酸イオン ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) 濃度は 1.06 ~ 8.44mg/l 範囲で、平均値は 2.51mg/l にある。西部林道沿い、大川の滝、栗生川、山河湧水などの自然水で比較的高い値を示す傾向にある。自然水中の硫酸イオンは、塩素イオン同様、海塩起源による供給要因もあるので、海岸沿い平地部から中央山岳部での推移状況をみるために、図 5-18 に採水地点の標高との関係でプロットしている。やはり自然水に溶け込んでいる硫酸イオンの溶存量は標高と強い相関性を示し、海岸沿い平地部と中央高峰部での自然水中の硫酸イオン量にはかなり相違のあることがわかる。

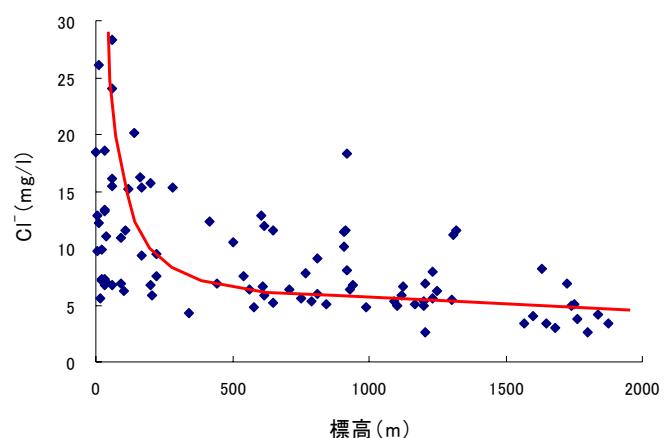


図 5-17  $\text{Cl}^-$  濃度と標高との関係

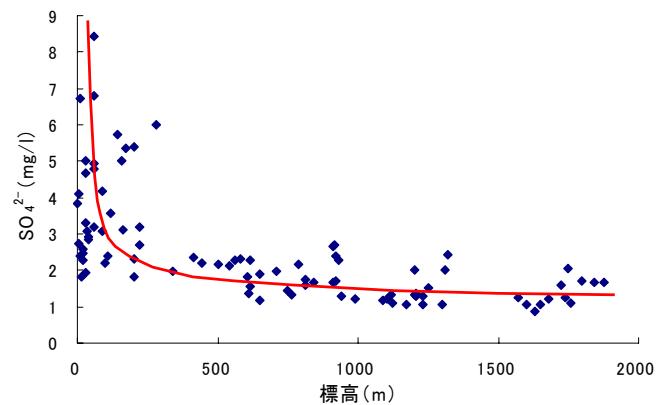


図 5-18  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度と標高との関係

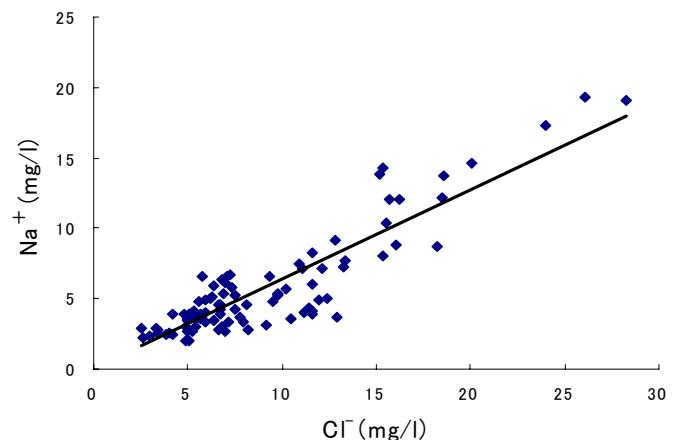
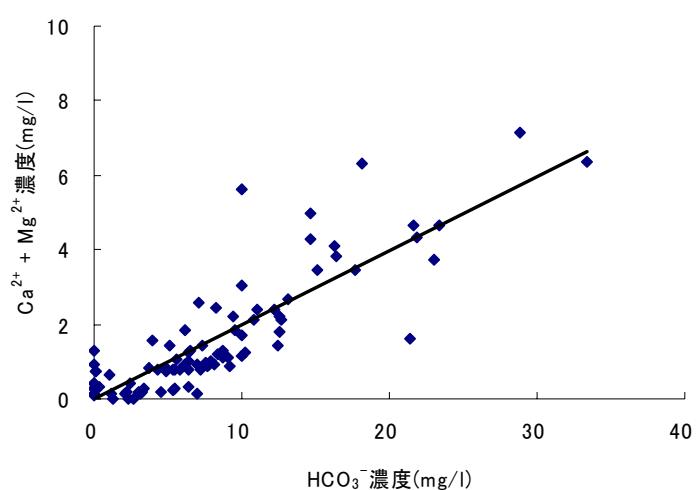


図 5-19  $\text{Na}^+$  濃度と  $\text{Cl}^-$  濃度との関係

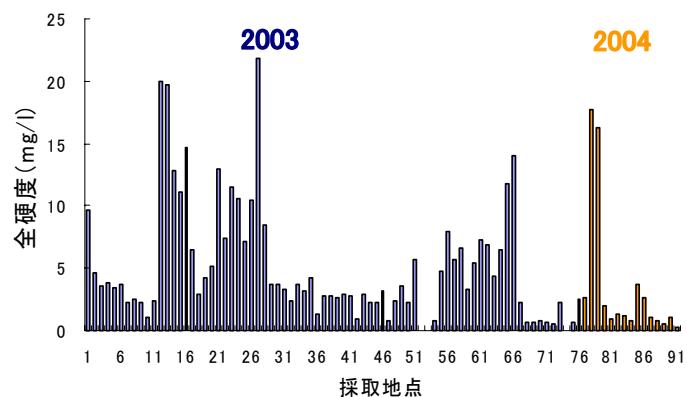
一方各陽イオン ( $\text{Na}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ ) の溶存量についてみると、ナトリウムイオン ( $\text{Na}^+$ ) 濃度は 2.06~19.31mg/l 範囲にあり平均値は 5.74mg/l である。海に囲まれた屋久島のような立地環境の場合には、ナトリウムイオンはやはり海塩粒子の混入が主要な供給起源となるイオン成分である。そのため塩素イオンと解離的に平衡状態に近い溶存量を呈するのが一般的である。図 5-19 に示すように、両イオン成分量間には、かなり良好な線形的な相関性が認められる。

アンモニウムイオン ( $\text{NH}_4^+$ ) 濃度は 91 サンプル中 19 サンプル (約 21%) で検出され、検出された地点はかなりかたよっている。特にトイレの設置されている付近や避難小屋 (トイレ付き) 周辺の自然水で検出される場合が多く、山岳部においても 1~4mg/l 範囲の比較的高い値が検出される。このような立地環境のもとで検出されるアンモニウムイオンの場合、供給源は人為的要因に起因していることが多く、新高塚小屋付近の自然水では同時に高い濃度 (3.52mg/l) の硝酸イオンも検出されている。アンモニウムイオンも硝酸イオンと併記して、両窒素態の濃度状況から屋久島での水質汚染の実態については 5.5 節で論述している。

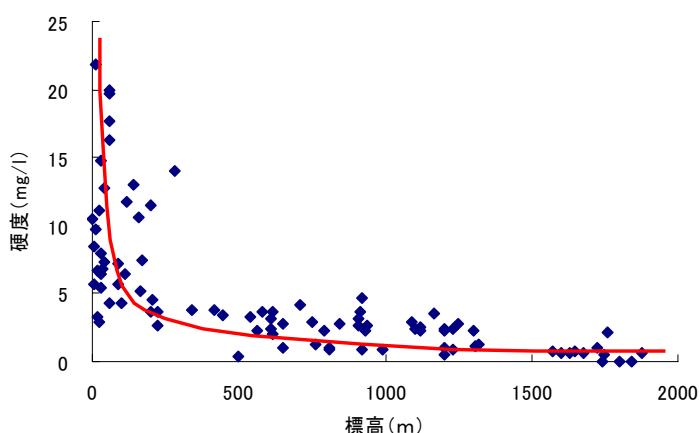
カリウムイオン ( $\text{K}^+$ )、マグネシウムイオン ( $\text{Mg}^{2+}$ )、カルシウムイオン ( $\text{Ca}^{2+}$ ) の主要なミネラル成分をみる



(a) 風化に伴うミネラル成分量の推移



(b) 自然水の硬度



(c) 標高に伴う硬度の推移

図 5-20 自然水の主なミネラル成分の特性

と、 $K^+$ は 0.66~12.29mg/1 範囲で 5mg/1 未満の自然水が大半で、平均値は 3.4mg/1 である。 $Mg^{2+}$  と  $Ca^{2+}$  は 1~2mg/1 未満の自然水が大半である。三者のイオン成分は海塩起源の供給要因もあるが、土・岩石・植物などの固体物質との接触による供給要因が大きい。特に  $Mg^{2+}$  と  $Ca^{2+}$  の供給源は地質的要因が主流となる場合が多い。島中央部山岳から一円に分布する花崗岩地帯を浸透流下する自然水は、地層を構成する岩石の風化状況によって供給される両イオン成分量が左右されるといわれている<sup>19)</sup>。地層の風化度合の化学的指標となるのが自然水中の重炭酸イオン量( $HCO_3^-$ )であることから、図 5-20 に両イオン成分の含量との関係で示すと、かなり良好な相関性が認められる。両イオン成分は地層からの供給要因が主流となっており、しかも自然水への地層からの供給量はその地層を構成している岩石(主に花崗岩類)の風化度合と強い因果関係にあることが理解される。また屋久島の自然水はミネラル成分量の少ない「超軟水」といわれている<sup>21)</sup>。このことは、特に島中央山岳部の流水では、図 5-13 で示したかなり低い EC 値(10~20  $\mu S/cm$ )からも予想できる。図 5-20 中に示すように、大半の自然水の硬度( $\approx 2.5Ca^{2+} + 4.1Mg^{2+}$ )は 5mg/1 以下で平均値は 4.85mg/1 と超軟水(軟水は硬度が 100mg/1 以下の自然水)に分類される。標高との関係でプロットするとその特徴がより明瞭になる。標高 500m 以上での自然水の硬度は総じて 5mg/1 以下で、標高 1,500m 以上の高峰域では 1~2mg/1 以下の硬度の自然水が形成されている。これらの自然水はかなり降水に近い水質のためと考えられる。

屋久島では樹齢 7,200 年の縄文杉は標高約 1,300m に繁茂し、樹齢数千年の多くの屋久杉もまた標高 500~1,300m 範囲に生育していることから、これらの巨樹林は太古から溶存化学成分量の少ない超軟水の自然水を栄養源として生長し続けているものと推察できる。

#### 5. 3. 4 水質タイプ

前節で、屋久島における自然水の水質的特徴として、pH と EC の基本的性質および主要な溶存化学成分の定量評価を通して、各種陰・陽イオンの供給起源やその要因等について論述した。本節ではヘキサダイヤグラムとトリリニアダイヤグラムを利用して、屋久島における自然水の水質タイプを分類する。また EC や主要な溶存化学成分の定量評価の結果から、屋久島の自然水は降水に近い水質特性を有していると考えられることから、トリリニアダイヤグラムでの水質表示では、両水質タイプの比較を試みている。

屋久島での 91 サンプルの自然水について作成したヘキサダイヤグラムを図 5-21 に示している。自然水のヘキサダイヤグラムは、大半が塩素イオン( $Cl^-$ )とナトリウムイオン( $Na^+$ )の溶存量が高く表れた逆盃型の形状を示している。描かれた図形の大きさは異なっても、互いに

凡 例

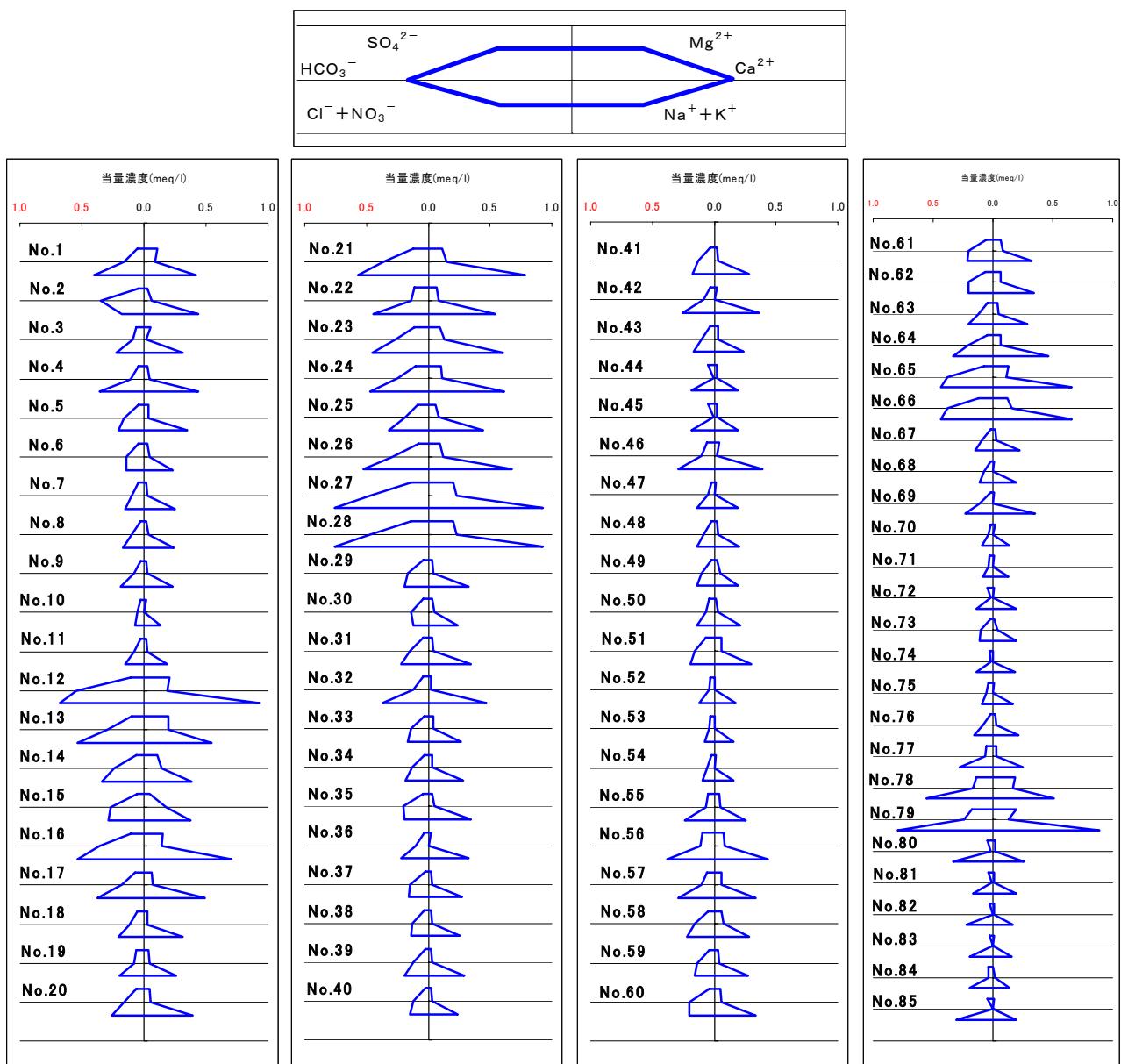


図 5-21 自然水のヘキサダイヤグラム

ほぼ相似的な形状を示しているものが多く、水質的にはほとんど等質とみなせる。図形の大小をみると、小さな図形の自然水は山岳域でのもので、大きな図形はほとんど海側河口付近での自然水のものである。このような相似的に推移するヘキサダイヤグラムの形状をみると、山岳部での降水は自然水となって急峻な地形を流下浸透し海岸沿い河口部に達するまで、その水質をほとんど変容させることなく、多少溶存化学成分量を増して海に注いでいることがわかる。このようなヘキサダイヤグラムの形状から判断すると、化学成分量の相違は標高や位置で異なってはいるが、屋久島一円の自然水は総じて海塩起源の化学成分が支配する Na-C1 型の水質タイプといえる。そこで図 5-22 に自然水と降水の水質をトリリニアダイヤグラム上に併記して

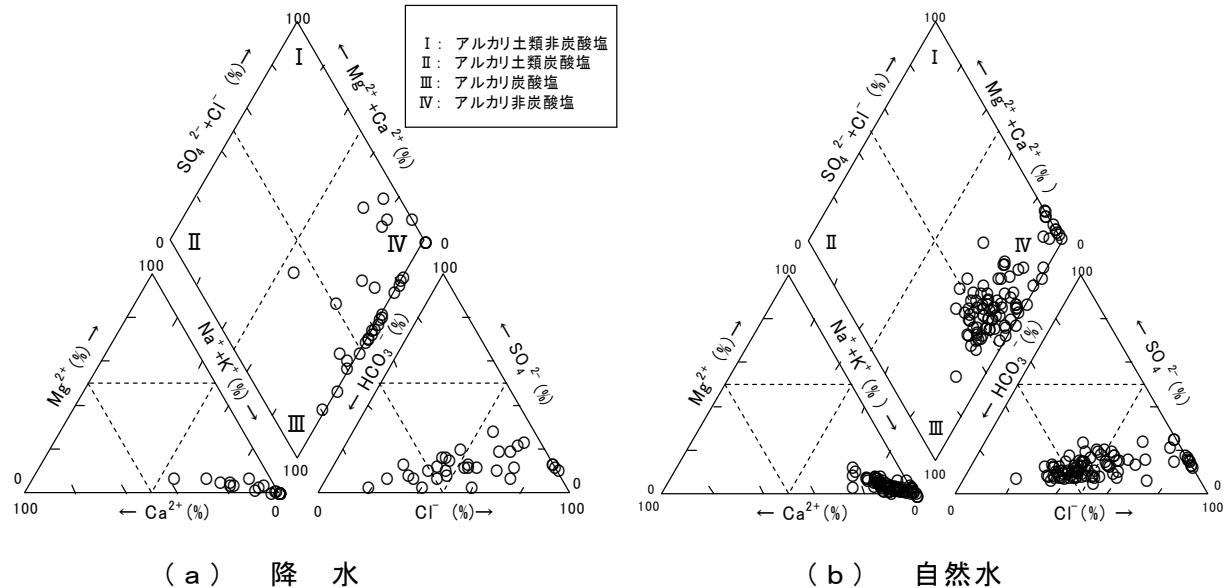


図 5-22 降水と自然水のトリリニアダイヤグラム

表示しその水質タイプを分類すると、いずれの水質もアルカリ炭酸塩（III型）とアルカリ非炭酸塩（IV型）の二つの範疇に区分されることがわかる。しかし大半はIV型のアルカリ非炭酸塩に分類される。このIV型はNaとClが水質を支配する化学成分組成の水質タイプで、塩水や海水がこの水質タイプに区分される。このことから屋久島の自然水の水質的な特徴は、降水の水質を潜在的に強く保有しているところにある。

## 5. 4 土の化学組成

### 5. 4. 1 土サンプルの概要

前節では屋久島での自然水について、主溶存化学成分の定量的評価や水質タイプの分析を通して、自然水の水質的特徴について述べた。自然水の水質は、種々の水形態をとって流下浸透する過程で、土壤からの溶出や岩石の風化によって化学物質が溶け込むことにより変容する。前節での結果より、屋久島の自然水は、かなり降水に近い水質を示し、土から溶解する化学成分量はかなり低いと推察されることがわかる。本節では、土の酸性度（pH）と電気伝導率（EC）

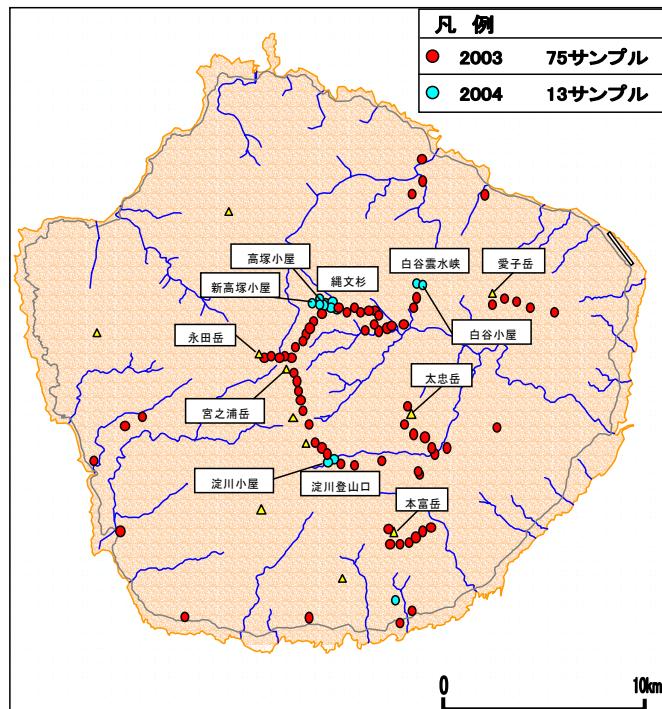


図 5-23 屋久島での土の採取位置

の基本的な化学物性をはじめ、土を構成する主要元素・酸化物組成や土から溶解するイオン成分を分析して、屋久島における土の化学組成の評価を試みている。

土サンプルの採取地点を図5-23に示している。サンプリングでは山岳部での地表水との関連性及びトイレ・避難小屋周辺での土壤汚染との関連から、土の化学組成を考察することに主眼を置いているので、主に表層土（深さ10~20cm程度）を対象としている。分析対象とした土サンプルは88サンプルで、2003年7月には屋久島一円を対象に75サンプル、2004年8月には高塚小屋、新高塚小屋、白谷小屋、淀川小屋のトイレ・避難小屋周辺を対象に13サンプルを採取している。さらに白谷雲水峡～縄文杉～宮之浦岳～永田岳～淀川登山口の登山道沿い、愛子岳の登山道沿い、本富岳の登山道沿い、太忠岳の登山道沿いを中心に山岳登山道沿いでの表層土の採取を試みている。

#### 5. 4. 2 酸性度（pH）と電気伝導率（EC）

図5-23に示す一連の採取地点での

土サンプルについて、その水素イオン濃度（pH）と電気伝導率（EC）を図5-24と図5-25にそれぞれ示している。土の酸性度を表すpHは3.8~7.6範囲であるが平均値は5.1で、概ね4~5台のかなり酸性度の高い土が表層部に堆積分布している。88サンプル中、pHが3台の土が3サンプル、4台の土が43サンプルあり、5未満の強酸性土に分類される土が46サンプルと半数の約52%を占めている。土サンプルのEC値は5~136 $\mu$ S/cm範囲で平均値は24.16 $\mu$ S/cmである。20 $\mu$ S/cm以下の土サンプルが多く、土のECからみると、

屋久島の土は化学成分の溶出能力はかなり低いものと推察できる。なおNo.77（高塚小屋③）で135 $\mu$ S/cm、No.81（新高塚小屋トイレ横）で136 $\mu$ S/cmと突出した値を示しているが、これらの採取地点では、自然水の場合と同様に、人為的要因による影響が考えられる。

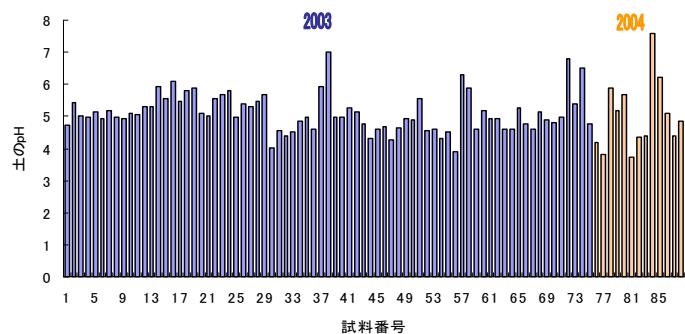


図5-24 土のpH

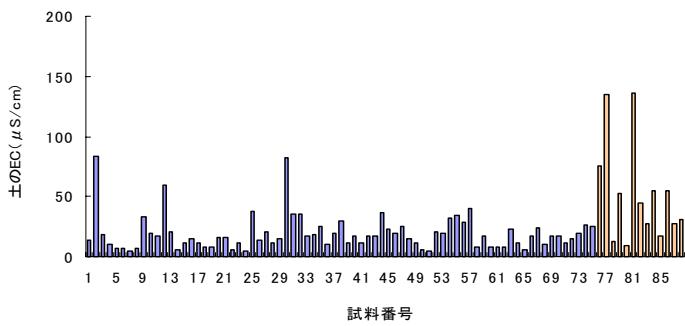


図5-25 土のEC

### 5. 4. 3 含有元素・酸化物組成

ここでは土を構成している主要な元素組成を解明するため、土の溶出化学成分の分析と並行して実施した蛍光X線回折の分析結果に基づいて、土の含有元素組成と酸化物組成について考察を試みている。屋久島で採取した土88サンプルについての主要な含有元素と酸化物組成を図5-26と図5-27に示している。屋久島における各土サンプルは、酸素(O)の含有量が概ね40%前後と最も高い値を示していて、ケイ素(Si)が酸素と同等かやや低い30~40%前後の値を示している。前章の図4-28に示した白神山地の土の含有量と比べると、酸素の割合はほとんど変わらないが、ケイ素の含有量の割合は屋久島の方が高く、炭素(C)の含有量は低くなっている。土における炭素(C)含有量は植物等からの供給が大きいと思われるが、白神山地は広葉樹であるブナで覆われているため、樹葉の量が豊富であり、表層土により多く含まれるが、屋久島は花崗岩を基盤に針葉樹であるスギを中心であるため、白神山地と比較すると低い割合になっているものと思われる。酸素(O)、ケイ素(Si)に次いで、アルミニウム(Al)が概ね10%範囲で含まれているが、炭素(C)含有量の最も高かったNo.36(万代杉の根元)で約10%の含有量を示す以外、大半は2~3%の含有量である。No.36ではスギの根元での表層土を採取しており、スギからの有機物の混入に起因した元素成分が含まれたことで、炭素含有量が高くなつたとも考えられる。鉄(Fe)は2~10%、カリウム(K)は2~5%、ナトリウム(Na)、カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)が少量含有されている。さらに総含有量が約2%未満で微量成分が検出されており、その成分元素にはチタン(Ti)、塩素(Cl)、フッ素(F)、マンガン(Mn)、硫黄(S)、リン(P)、クロム(Cr)、コバルト(Co)、亜鉛(Zn)などの元素が含まれている。

次に、元素成分を含有酸化物成分として再整理したのが図5-27である。左図には主要酸化物のケイ酸(SiO<sub>2</sub>)、酸化アルミ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、酸化鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)とそれ以外の酸化物をその他として、それらの含有比率を示している。右図に自然水のミネラル成分に関連深い酸化物として、酸化カリウム(K<sub>2</sub>O)、酸化ナトリウム(Na<sub>2</sub>O)、酸化カルシウム(CaO)、酸化マグネシウム(MgO)とそれ以外の微量酸化物の含有比率を示している。酸化物成分の結果をみると、難溶解性として知られているケイ酸、酸化アルミ、酸化鉄が総計で85~90%を占めている。一方、易溶解性として知られている酸化物は、それぞれ酸化カリウムが約2~6%、酸化ナトリウムが約1~3%、酸化カルシウムが約1~7%、酸化マグネシウムが約1~2%と少量である。屋久島でのこれらの土サンプルの場合、先に示した白神山地での酸化物含有量(図4-29参照)と比較しても、これらの酸化物含有量の比率がかなり低いことがわかる。このことが地層から溶け出すミネラル成分の溶出機能が低く、ミネラル成分の溶存量に乏しい自然水が創世される要因の一つとも考えら

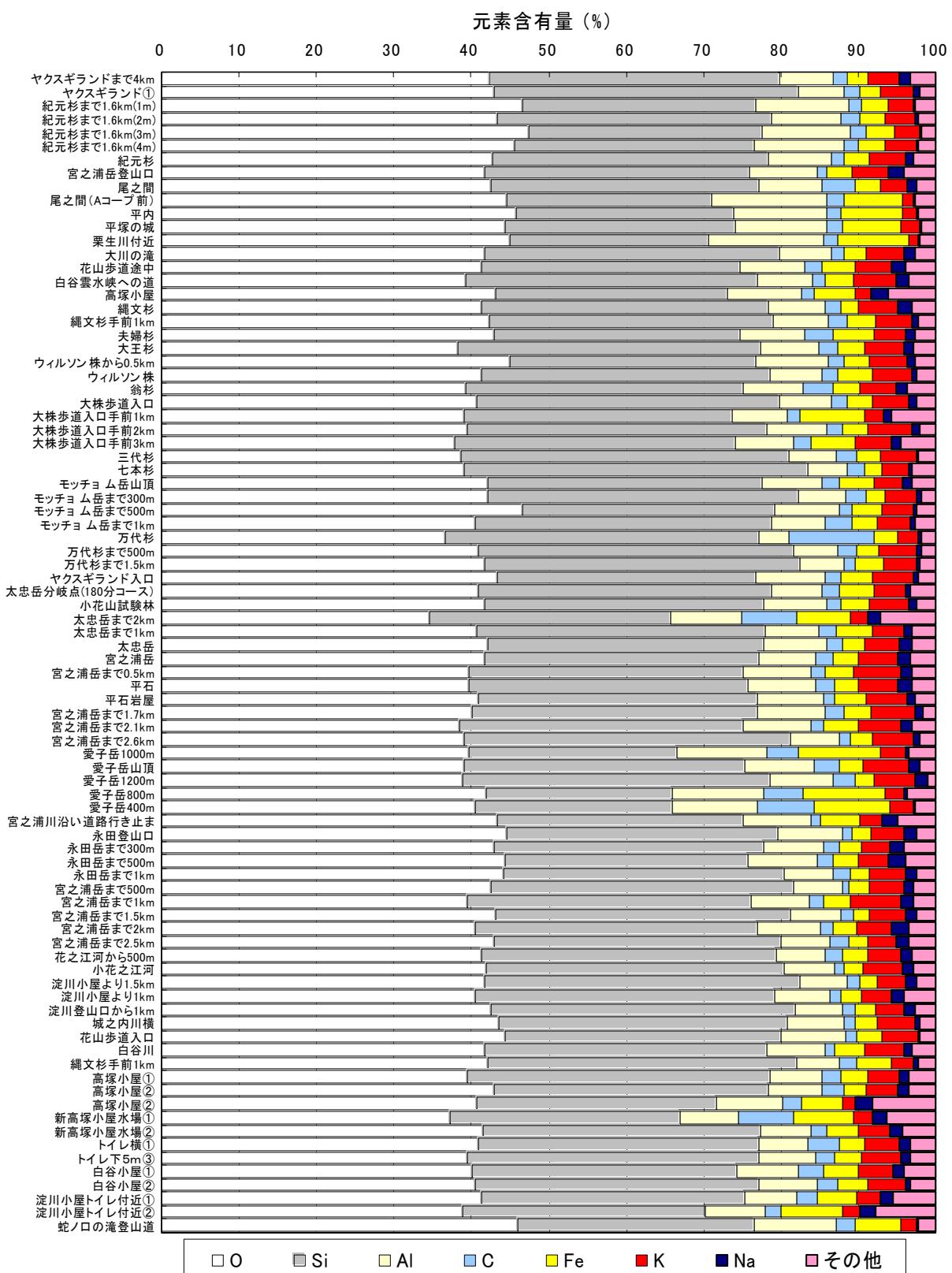


図 5-26 土の元素含有量

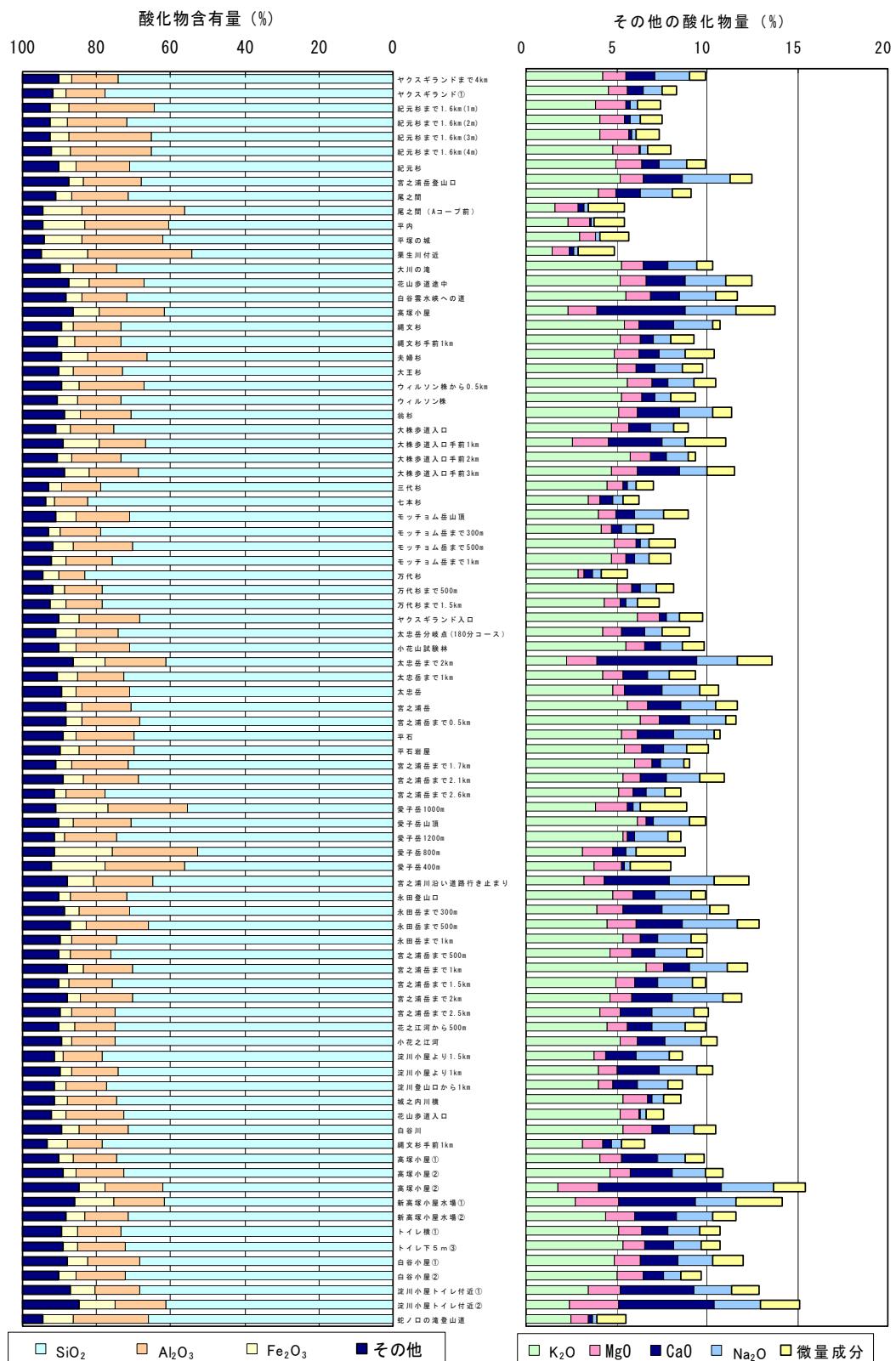


図 5-27 土の酸化物含有量

れる。次節では、土の主要成分元素のタイプに応じてその溶出機能を調べ、含有量との関連性について考察を試みる。

#### 5. 4. 4 化学成分の溶出機能

前節では、屋久島での土サンプルに含有されている主要元素・酸化物成分について定量的に論じてきた。ここでは土から溶出する成分元素の分析を通し、主要化学成分間の溶出性の相違や含有量との関係について考察している。

まず屋久島で採取した 88 サンプルの土について、土溶出水(土の溶出試験で抽出した土から溶解した化学成分を含んだ水溶液)の水素イオン濃度(pH)と電気伝導率(EC)の状況を図 5-28 と図 5-29 にそれぞれ示している。土溶出水の pH は 3.9~7.76 範囲で平均値は 5.49、EC は 5~158  $\mu\text{S}/\text{cm}$  範囲で平均値は 22.56  $\mu\text{S}/\text{cm}$  である。これらの結果を 5.4.2 節(図 5-24 と図 5-25)で考察した土の pH と EC の結果と比較すると、数値的にも両結果はほとんど類似した傾向を示している。土溶出水の場合もやはり pH が 4~6 台の酸性度を示し、土から溶出する化学成分は自然水等を酸性化する役割がある。土溶出水は過酷な条件下で土から化学成分を溶解させた水溶液であるので、EC 値は総じて土の値より多少高くなる傾向は認められるが、ほとんど近似した値となっている。

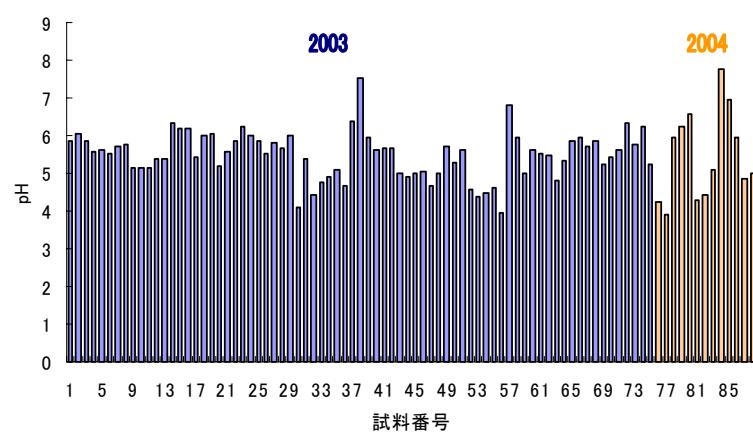


図 5-28 土溶出水の pH

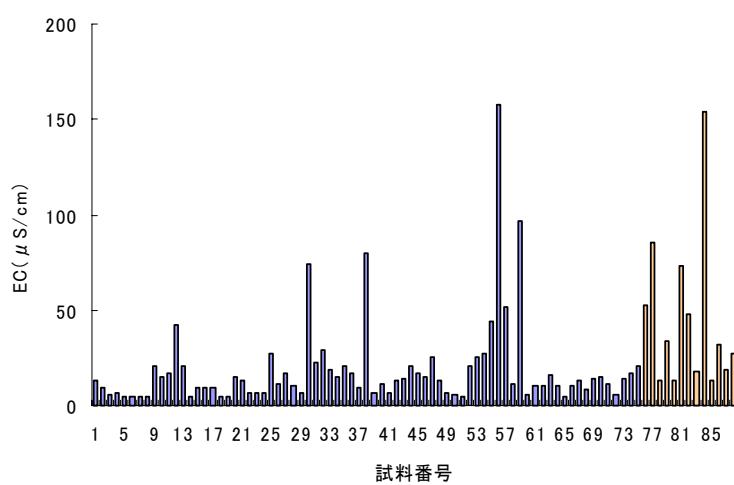


図 5-29 土溶出水の EC

土溶出水に溶解している化学成分について示したのが、図 5-30 と図 5-31 である。土溶出水に溶解している化学成分のうち、陽イオン 5 成分 ( $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ ) と陰イオ

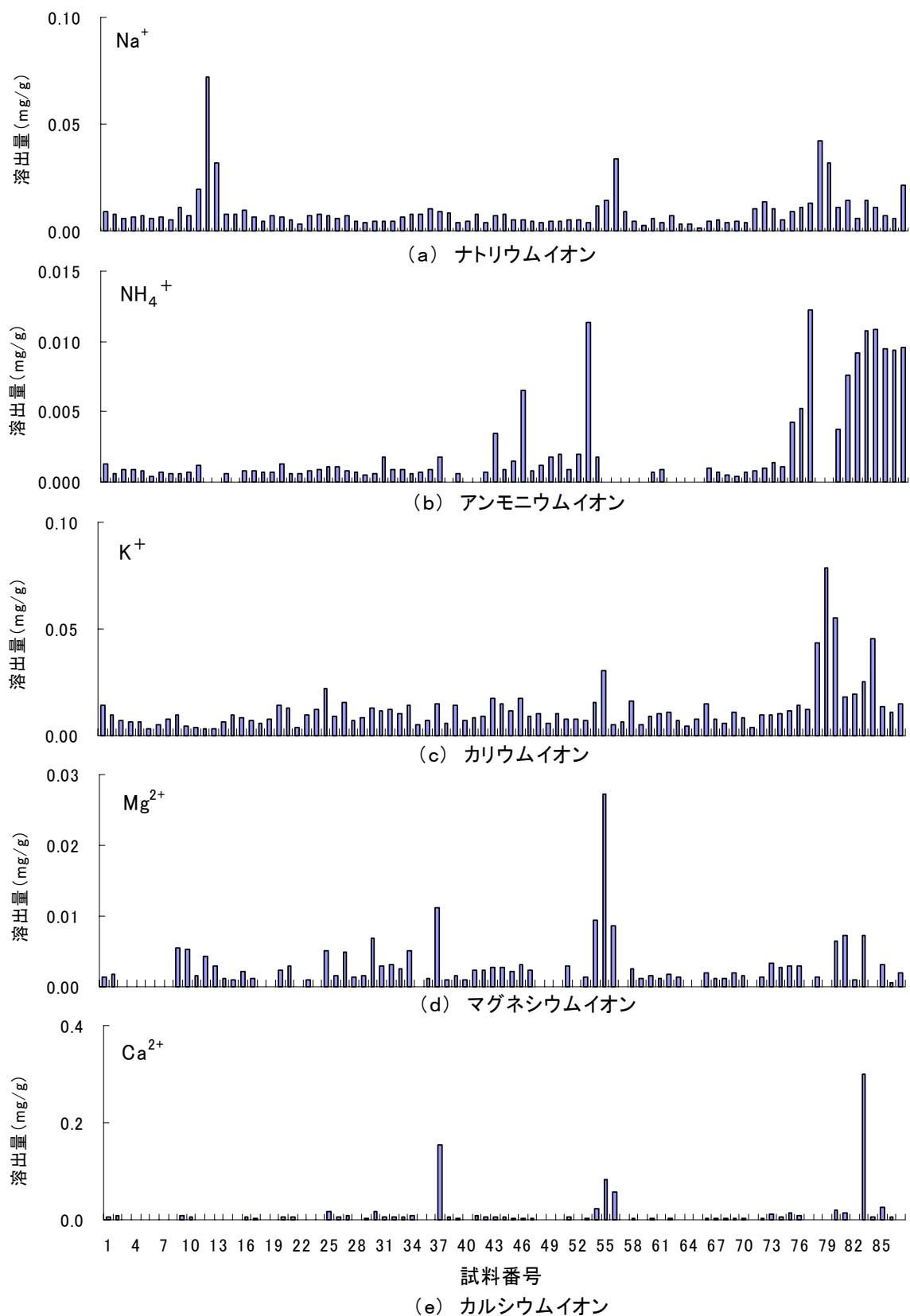


図 5-30 主要陽イオンの溶出量

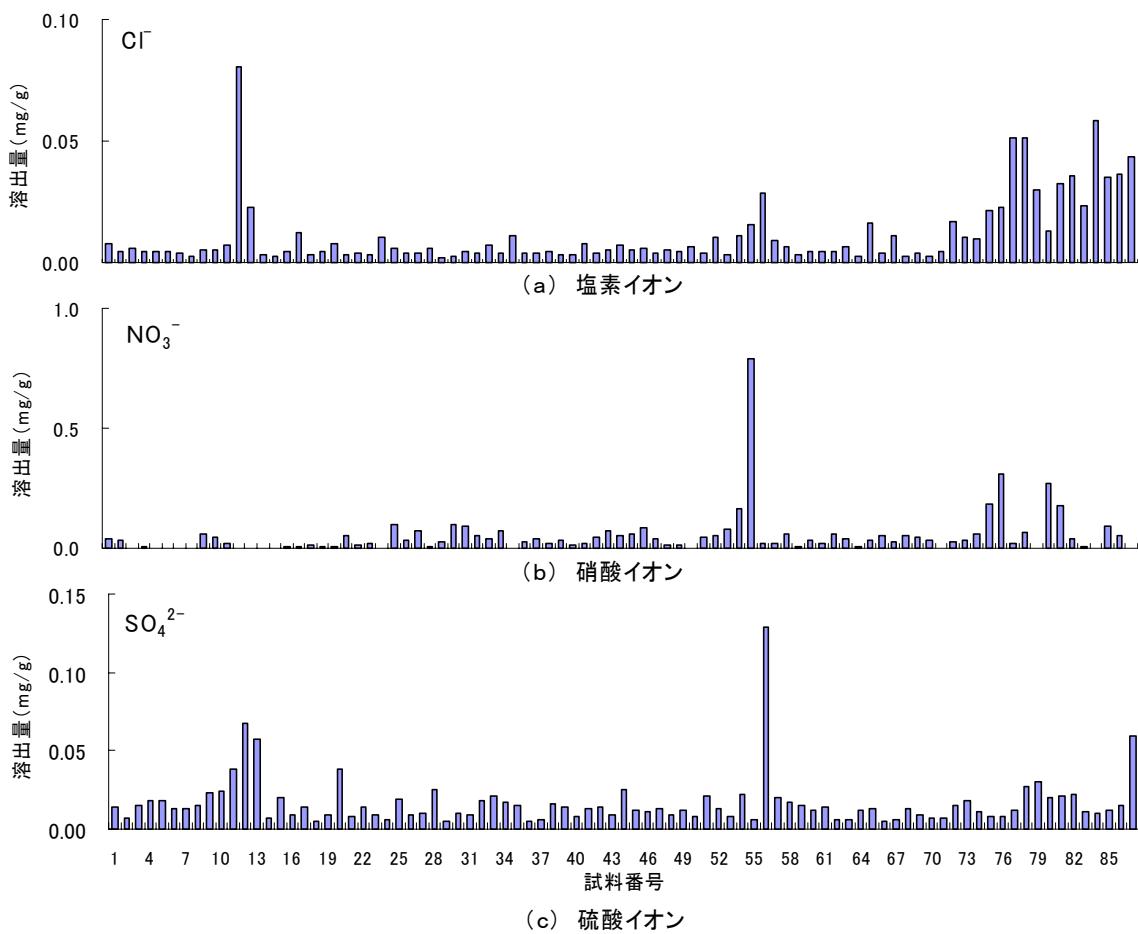


図 5-31 主要陰イオンの溶出量

ン 3 成分 ( $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ ) についてそれぞれ示している。溶出量は土の乾燥質量 1g 当りからの溶出成分の質量であり、mg/g で表示している。まず図 5-30 に示す陽イオン成分 ( $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ ) をみると、 $\text{Na}^+$  と  $\text{K}^+$  は数サンプルで大きな値を示しているが、大半は 0.02mg/g 範囲内で確実に検出される。 $\text{Na}^+$  は海塩粒子による供給が主流と思われ、土粒子表面に弱い結合力で吸着・付着した成分が溶出していると考えられる。 $\text{NH}_4^+$  は  $\text{Na}^+$  や  $\text{K}^+$  の 1/10 程度の 0.002mg/g 範囲内の溶出量であるが、トイレや避難小屋周辺で採取した No. 76～No. 78 (高塚小屋周辺) と No. 81～No. 87 (新高塚小屋、白谷小屋、淀川小屋周辺) などの土サンプルでは、他のサンプルに比較してかなり高い 0.01mg/g 前後の溶出量を示すものが多い。5.3.3 節で記述したように、この近傍で採水された自然水でも  $\text{NH}_4^+$  や  $\text{NO}_3^-$  が高い濃度で検出されている。 $\text{NH}_4^+$  は植物遺体の腐植分解作用や土中微生物の活動作用からの成因も考えられるが、採取土がトイレや避難小屋周辺に堆積していたことから、排泄物や生活廃棄物などの人為的要因によることも考えられる。このことについては次節で詳述する。 $\text{Mg}^{2+}$  と  $\text{Ca}^{2+}$  は土や岩石を構成する主要鉱物の成分元素であり、一般に自然水への供給要因の主流は地層からの場合が多い。屋久島の土

サンプルの場合には、両元素成分の溶出量は総じてかなり低く、0.01mg/g 未満のサンプルがほとんどである。Ca<sup>2+</sup>の場合には 0.1mg/g を超えるサンプルも僅かに確認されるが、非検出のサンプルもかなり認められる。このような土からのミネラル成分の溶出状況、即ち土の溶出機能からも、自然水において溶存化学成分量の乏しいしかも超軟水が生成されるメカニズムの一端が窺われる。

一方、図 5-31 に示す陰イオン成分 (Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) をみると、塩素イオン (Cl<sup>-</sup>) では 0.01mg/g 以下の値を示すサンプルが大半だが、やはりトイレ・避難小屋周辺のサンプルでは 0.05mg/g 前後の値を示すものがみられる。Cl<sup>-</sup>は Na<sup>+</sup>同様に海塩粒子の土粒子表面への吸着・付着が主因とされる成分である。硝酸イオン (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) は大半が 0.1mg/g 以下であるが、No. 56 のサンプル（愛子岳標高 400m 地点）で約 0.8mg/g と非常に高い値が検出された。採取地点の愛子岳一帯は照葉樹林帯で覆われた森林山岳域で人為的要因は考え難いので、その理由は落葉植物等による有機物の腐植作用や土中バクテリアの分解作用による自然的要因によるものと推察される。硫酸イオン (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) は溶出量的には塩素イオンと類似した傾向を示し、概ね 0.01～0.02mg/g 未満のサンプルが大半を占めている。硫化物や硫酸塩鉱物等からの供給源もあるが、海に囲まれた屋久島のような場合には、塩素やナトリウムイオン同様、海塩粒子の土粒子吸着が主因と思われる。

次に代表的な成分元素 (Cl、Na、K、Mg、Ca) を対象に、溶出量を含有量との関係で整理したのが図 5-32 である。これは各成分元素で含有量に対する溶出量の度合を比較したものである。かなりばらつきはあるが、屋久島での土サンプルではこれらの成分元素の溶出量は、概ね 0.001～0.1mg/g オーダーに分布している。当然、溶出量が同

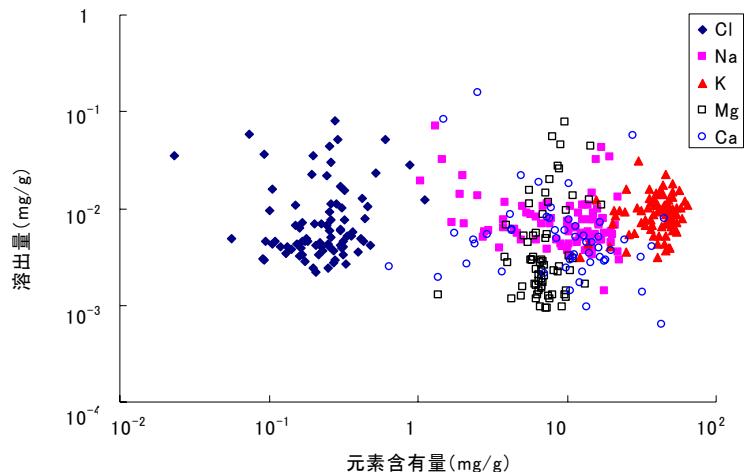


図 5-32 代表的なミネラル成分元素の溶出量と含有量の関係

じでも含有量の少ない元素ほど溶出性の高い元素と判断される。このような観点からみると、まず含有量が 0.1～1mg/g オーダーの塩素 (Cl) が最も溶出性の高い元素であることがわかる。Na、Mg、Ca 間には溶出性に明瞭な差異は認められず、概ね 1～10mg/g オーダーの含有量に対して溶出量は 0.001～0.1mg/g オーダーとなっている。K は他の元素とほとんど変わらず溶出量は 0.001～

0.1mg/g オーダであるが、含有量が多少高いため溶出性の最も低い元素となっている。この結果によると、含有量に対する溶出量の比率は概ね Cl で 1/10、Na、Mg、Ca で 1/1000、K で 1/10000 と試算できる。このように各成分元素によって、土からの溶出量は大きく異なっていることが理解される。ミネラル養分に乏しい屋久島独特的水環境が形成されているのも、このような土の化学成分の溶出機能と密接に関係しているものと推察される。

## 5. 5 屋久島における硝酸性窒素とアンモニア性窒素濃度

屋久島では、世界遺産に登録される前からその原生的自然が多くの人を惹きつけていたが、世界自然遺産に登録されてからは、さらに多くの観光客が訪れ、島のシンボルといえる縄文杉や宮之浦岳をはじめとする九州一の山岳地帯を目指して入山者の数が急増した。全国の山岳域で問題になっているトイレ整備の不備や不足、キャンプ場・山小屋・登山道周辺でのゴミの不法投棄などによる人為的影響による山岳域の水汲み場の水質汚染問題に対する懸念は、屋久島でも例外ではない。4.5 節では、最近問題になっているこの「山の水場」の水質汚染問題の観点から、白神山地における硝酸性窒素とアンモニア性窒素濃度について述べたが、屋久島についても同様な論述を展開する。なお 1994 年に当研究室では屋久島の実態調査を既に実施しており、ここではそれらのデータを活用し、ほぼ 10 年経過後の硝酸性窒素とアンモニア性窒素の実態変化から、入山行為の経年的蓄積効果が及ぼす環境負荷についても考察する。

1994 年に現地調査で採水した自然水 64 サンプルの採水地点を、2003 年と 2004 年での採水地点と併記して図 5-33 に示している。1994 年の調査では、島の海岸沿い周辺部と縄文杉や白谷雲水峡の登山道沿いを中心に採水を試みている。屋久島での山岳域のトイレは、図中に示す白谷小屋、大株歩道入口、高塚小屋、新高塚小屋、淀川小屋の 5 箇所の避難小屋等に設置されている。しかし浄化槽式の周辺環境に配慮したトイレは、大株歩道入口に 2003 年に設置されたトイレのみで、他の避難小屋のトイレはすべて地下浸透型でほとんど垂れ流しの現状

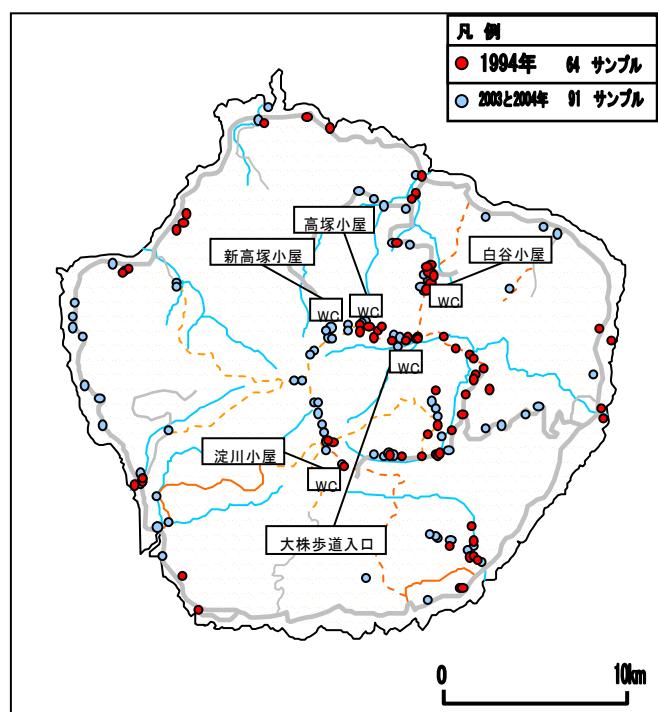


図 5-33 1994 年の自然水の採水位置

にある。そこで2004年の現地調査では、山岳域のトイレや避難小屋周辺の水汲み場に留意して採水を実施している。

本研究では、屋久島一円で2003年7月に76サンプル、2004年8月に15サンプル、総計91サンプルの自然水を採水分析し、その溶存化学成分などの実態評価を試みた。また1994年3月(46サンプル)、7月(17サンプル)、8月(5サンプル)に採水した自然水68サンプルも考察対象に加えている。ここでは水質汚染の指標とされる硝酸性窒素( $\text{NO}_3^-$ -N)とアンモニア性窒素( $\text{NH}_4^+$ -N)に主眼を置き、分析した硝酸イオン( $\text{NO}_3^-$ )とアンモニウムイオン( $\text{NH}_4^+$ )濃度はそれぞれ両窒素濃度に換算して用いている。

硝酸性窒素( $\text{NO}_3^-$ -N)とアンモニア性窒素( $\text{NH}_4^+$ -N)を標高との関係で表示したのが図5-34と図5-35である。まず硝酸性窒素( $\text{NO}_3^-$ -N)と標高との関係図に着目する。1994年の調査結果では68サンプル中27サンプル(約40%)の地点で検出されている。検出された地点は標高の低い海岸沿い平地部が目立ち、各種の河川の源流域を形成している中央山岳部ではほとんど非検出である。検出された濃度も山岳部から平地部に移行するにつれて増加する傾向がみられる。検出濃度はNo.58(山河湧水)の場合4.62mg/lと突出した値となっているが、他の地点の自然水ではいずれも0.7mg/l未満であった。しかし2003年と2004年の調査では91サンプル中52サンプル(約57%)の地点で検出され、検出率の増加が窺える。

濃度的にはそれほど変化はなく、検出濃度は概ね0.8mg/l未満である。1994年にも検出された山河湧水は2003年(No.13)と2004年(No.79)には1~2mg/l範囲の濃度に低下していた。標高1,000m付近の山岳域にあるが避難小屋周辺の2箇所の自然水からは、やはり硝酸性窒素は検出された。No.85の新高塚小屋トイレ下5m付近の自

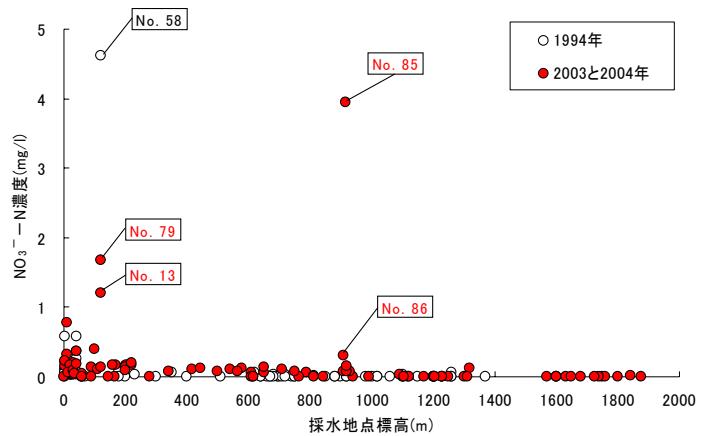


図5-34  $\text{NO}_3^-$ -N濃度と標高との関係

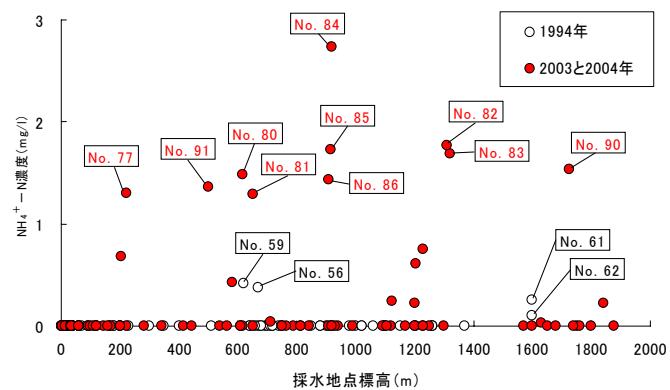
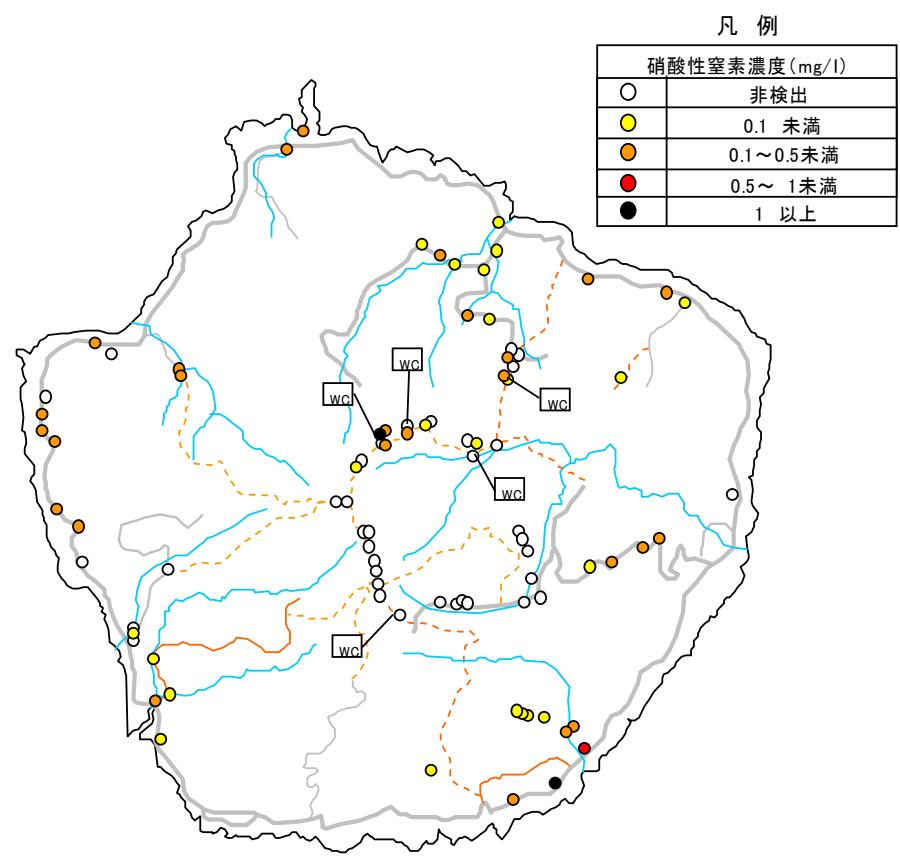


図5-35  $\text{NH}_4^+$ -N濃度と標高との関係

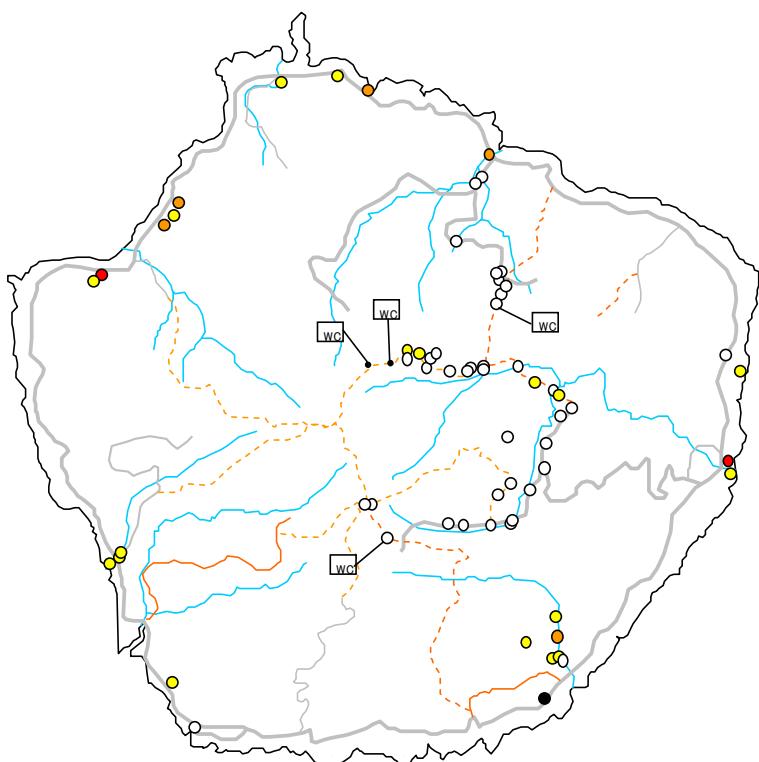
然水では  $4.95\text{mg}/\text{l}$  と極めて高い値が検出され、No. 86 の新高塚小屋トイレ下 10m 付近の自然水では  $0.3\text{mg}/\text{l}$  の濃度を示した。このような高所山岳域の自然水ではほとんど非検出の実態であることから考えると、供給源は人為的要因の可能性が高いと判断される。

次いで自然水中のアンモニア性窒素 ( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ) 濃度の検出状況を採水地点の標高との関連でみたのが図 5-35 である。1994 年の調査では 68 サンプル中 4 サンプル(約 6%)の自然水で検出され、その採水地点は No. 56 (万代杉)、No. 59 (益救雲水)、No. 61・No. 62 (花之江河) で標高 500m を越える山岳部に位置している。No. 61 と No. 62 の自然水の採水地点である花之江河は、我が国最南端に位置する高層湿原で、ミズゴケなどの植物性有機物が腐植分解した泥炭層が堆積している地域である。濃度的にはいずれも  $0.5\text{mg}/\text{l}$  未満とかなり低い値で、硝酸性窒素の場合のような標高との関連性は認められない。これらの検出地点は山岳部に位置し入山者による恒常的な人為的活動の影響は考え難いことから、アンモニア性窒素の供給要因は動植物等から生成される有機物の腐植分解作用に起因する自然的要因とみなしている。これに対して 2003 年と 2004 年の調査では 91 サンプル中 18 サンプル(約 20%)の地点で検出され、検出された自然水での濃度は  $1\text{mg}/\text{l}$  を超える場合が大半で、最高値は  $2.73\text{mg}/\text{l}$  (No.84) と、1994 年に検出された自然水の濃度より遙に高い値を示している。検出濃度が  $1\text{mg}/\text{l}$  を超えた地点の自然水は No. 77 (千尋の滝駐車場)、No. 80 (益救雲水)、No. 81 (白谷小屋)、No. 82 (高塚小屋下 10m)、No. 83 (高塚小屋下 20m)、No. 84 (新高塚小屋)、No. 85 (新高塚小屋のトイレ下 5m)、No. 86 (新高塚小屋のトイレ下 10m)、No. 90 (宮之浦岳最後の水場)、No. 91 (蛇の口の滝登山道) の 10 サンプルであった。これらの採水地点は標高 200m 付近から約 1,800m の高峰山頂付近にまで至っている。しかし大半は避難小屋周辺で採水した自然水で、図 5-34 での硝酸性窒素の検出状況と併せて判断すると、これらの自然水へのアンモニア性窒素の供給要因には入山者の活動行為に伴う人為的要因が密接に関与している可能性が高い。即ち屋久島においても設置された避難小屋を利用する入山者の活動行為と周辺水辺に与える環境負荷との間には深刻な因果関係の発生していることが推察される。

そこで今まで提示した硝酸性窒素とアンモニア性窒素の検出状況を 5 段階に濃度区分して、自然水の採水地点を地形図上にマップ表示したのが図 5-36 と図 5-37 である。両図にはほぼ 10 年経過での入山行為の蓄積に伴う環境負荷の影響に関する理解を深めるために、2003 年と 2004 年の調査結果を 1994 年の調査結果と併記している。図 5-33 で既に示したように、両調査年次でかならずしも自然水の採水地点は一致していないが、概ね島海岸部周辺域、中央部高峰域(人気の高い縄文杉や宮之浦岳への登山道沿い)、北部白谷雲水峡域が中心となっている。



( a ) 2003 年と 2004 年



( b ) 1994 年

図 5-36 自然水の硝酸性窒素検出地点

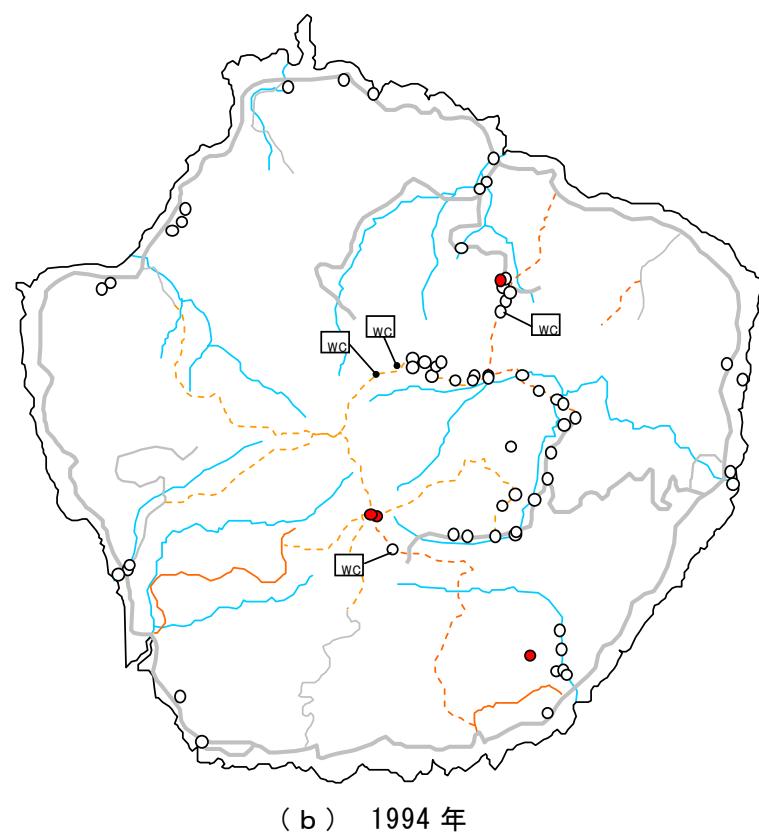
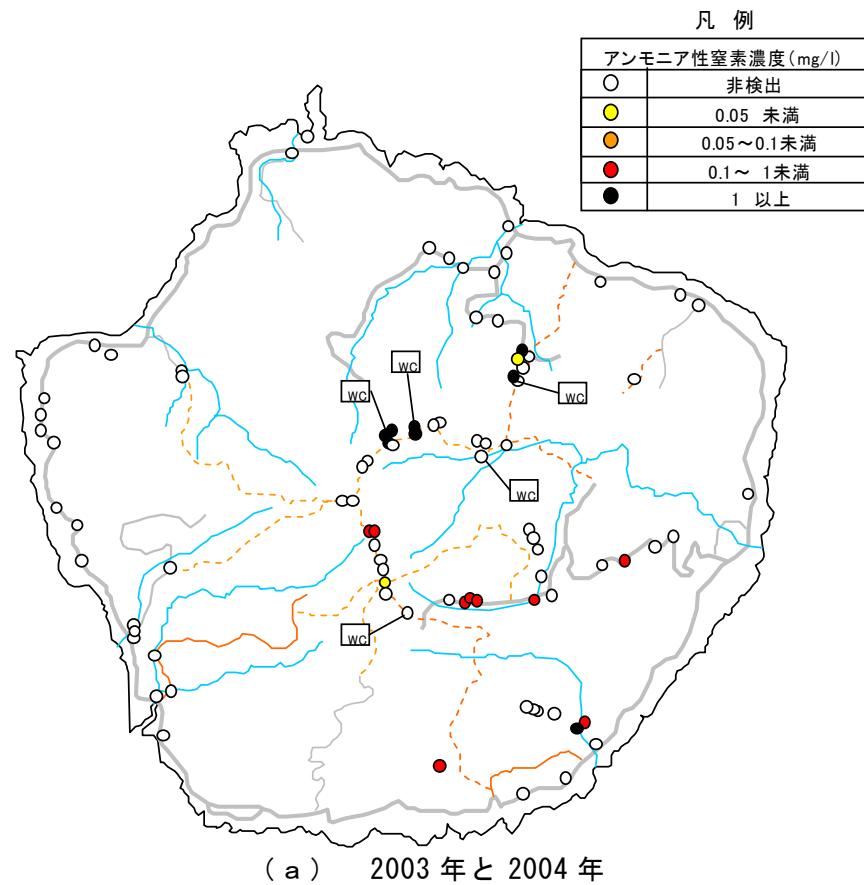


図 5-37 自然水のアンモニア性窒素検出地点

図 5-36 での硝酸性窒素の状況をみると、1994 年の調査マップでは検出地点の大半は島周辺部の海岸沿いとなっている。島中央部高峰域や白谷雲水峡域ではほとんど検出されておらず、検出されてもせいぜい  $0.1\text{mg}/\text{l}$  未満の濃度となっている。しかし 2003 年と 2004 年の調査マップをみると、増加した検出地点は島周辺部海岸沿いのみならず、白谷雲水峡域や中央部高峰域まで拡大していることが明瞭に理解できる。特に中央部高峰域での検出濃度が  $0.5\text{mg}/\text{l}$  を超える高い濃度を呈する地点の自然水は、上述したように避難小屋周辺で採水された自然水が大半である。

ほぼ 10 年を経た調査年次の違いが、図 5-37 に示すアンモニア性窒素の場合にはより明白に表れている。特に島中央部高峰域では、1994 年の調査での自然水からはほとんどアンモニア性窒素は検出されていなかったが、2003 年と 2004 年では検出地点が明らかに広範囲に拡大していることがわかる。やはり周辺の自然水に比較して極端に高い  $1\text{mg}/\text{l}$  以上の検出濃度を示す自然水は避難小屋周辺に分布しているものが多い。なお 1994 年に島中央域でアンモニア性窒素が検出された 2 箇所は泥炭湿原「花之江河」で採水した自然水(図 5-35 での No.61 と No.62 参照)である。

一般に硝酸性窒素やアンモニア性窒素の場合、動植物等の腐植分解作用や活動作用に起因して、河川上流域でも硝酸性窒素で  $0.2\sim 1.0\text{mg}/\text{l}$  程度、アンモニア性窒素で  $0.05\text{mg}/\text{l}$  未満ほど自然的要因で供給されることもあるとされている。海岸沿い平地部で検出される両窒素態には、採水地点の周辺や近傍に集落や農耕地等の人為的活動域が発達している所もあることから、供給起源を人為的と自然的要因に明瞭に区分することは難しい。しかし図 5-36 と図 5-37 で示した島中央高峰域と山岳奥へ向かう登山道沿いで両窒素態の確実な検出地点と濃度の増加状況を鑑みると、この自然水の水質実態の推移はやはりほぼ 10 年に

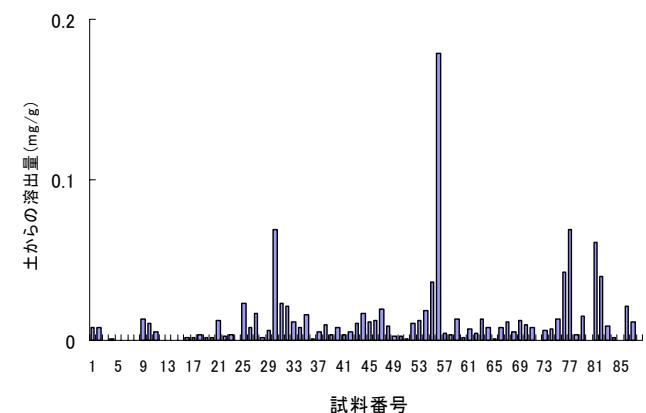


図 5-38 土から溶出する  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  濃度

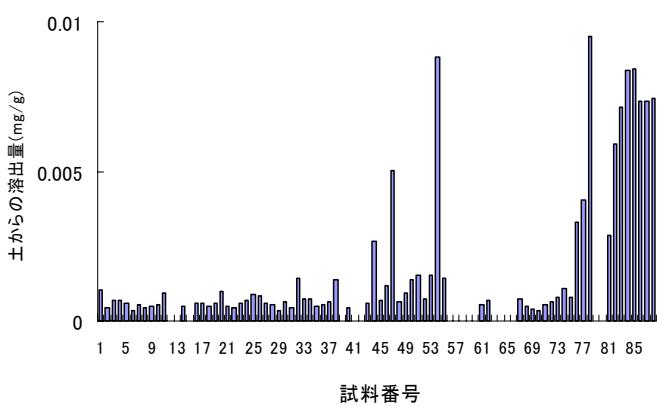


図 5-39 土から溶出する  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  濃度

及ぶ入山活動に伴う人為的要因の蓄積が周辺環境に負荷的影響を与えてきた証とも解釈できる。

そこでさらに地質的視点から両窒素態の供給要因について考察を深める。特にここでは、2003年(75サンプル)と2004年(13サンプル)に表層土を対象に採取した土サンプル(総計88サンプル)を用いて、土から溶出する両窒素態を定量分析し、両窒素態の土への供給要因について論じると共に、それが自然水への供給源としてどの程度関与している可能性があるのかについて検討を加える。

まず図5-38と図5-39には、採取土88サンプルに関する硝酸性窒素( $\text{NO}_3^-$ -N)とアンモニア性窒素( $\text{NH}_4^+$ -N)の溶出状況を、土の乾燥質量1g当たりからの溶出量(mg/g)として表示している。硝酸性窒素は88サンプル中78サンプル(約89%)、アンモニア性窒素は71サンプル(81%)で検出された。大半の土サンプルから両窒素態が溶出することから、地層から溶解した窒素態が自然水に溶け込むことが窺える。即ち自然的要因として地層から自然水に両窒素態が供給されていることも想定できる。約90%の土サンプルで硝酸性窒素の溶出量は0.02mg/g未満であるが、高い溶出量を示した土サンプルはNo.30(辻峠)、No.55と56(愛子岳)、No.76と77(高塚小屋)、No.81と82(新高塚小屋トイレ付近)などで、0.1mg/gを超える土サンプルもあった。またアンモニア性窒素は約80%のサンプル土で0.001mg/g未満の溶出量であるが、No.54(愛子岳)、No.78(高塚小屋)、No.82とNo.83(新高塚小屋トイレ付近)、No.84とNo.85(白谷小屋)、No.86とNo.87(淀川小屋トイレ付近)、No.88(蛇ノ口の滝登山道)などの土サンプルでは5倍以上の0.005mg/gを超える値となっている。

両窒素態が高い溶出量を示した採取地点近傍の状況を概説すると、No.30の辻峠は白谷雲水峡から縄文杉方面に向かう途中にあり、たいこ岩(素晴らしい景観が人気のスポット)方面との分岐点に当り、都合の良い休憩場所となるため入山者の立ち入りの多い地点である。No.54・55・56(愛子岳)とNo.88(蛇ノ口の滝登山道)の採取地点は国立公園の特別保護区内で愛子岳・蛇ノ口の滝・西部林道の登山道沿いの照葉樹林が群生している地点ある。No.76・78(高塚小屋)、No.81・82・83(新高塚小屋トイレ付近)、No.84・85(白谷小屋)、No.86・87(淀川小屋トイレ付近)の採取地点は近傍に避難小屋(トイレ付)が設置されている地点である。このような土サンプルの採取地点の状況を考慮して、土サンプルからの両窒素態の溶出量を土の強熱減量( $L_i$ )との関係で整理すると興味深い示唆が得られる(図5-40と図5-41)。先述したように土の強熱減量は含有有機物量の指標である。通常、強熱減量値の高い土は腐植分解途上の有機物や植物根等を多量に含有している土である。図5-40と図5-41でみられる興味深い点は、先の図5-38と図5-39で両窒素態の溶出量が低い土サンプルでは、ばらつきは認められるが溶出量

は強熱減量値と相関的に増加する傾向にあるが、溶出量の高い土サンプルではまったく掛け離れた傾向を示している。このように掛け離れたプロットにはすべて避難小屋近傍で採取した土サンプルが含まれている。もしも土から溶出する両窒素態の主要な供給源が有機物（主に落葉・枯葉・根毛等の植物や土中バクテリア等の微生物やその遺骸）の腐植分解作用による自然的要因だとすれば、高い溶出量を示した土サンプルの場合、人為的な活動行為によって土中に供給生成された成分が過剰に溶出した可能性もある。即ち人為的要因による土壤汚染による負荷が影響していることも考えられる。ただ No. 54・55・56（愛子岳）と No. 88（蛇ノ口の滝登山道）の場合には、照葉樹林で覆われた森林登山道沿いで人為的

要因というよりはむしろ、活発な腐植有機物の分解作用によって生成供給された両窒素態によって、その溶出量が高くなったと考えられる。

以上の考察に基づき、両窒素態の土サンプルからの溶出量を濃度区分して地形図上でマップ表示したのが図 5-42 と図 5-43 である。両図は土サンプルの溶出試験から得られた結果をしたもので、自然堆積環境下で土壤から両窒素態が恒常に表示濃度で溶出していることを意味しているのではなく、土壤が有する潜在的な溶出量、いわゆる溶出能力の目安を提示している。表層部に堆積している土サンプルを対象とした結果ではあるが、土中に混在する有機物の分解作用等（樹葉等の腐植化や微生物の遺骸・活動等）に起因する自然的要因で、自然水へ溶出可能な両窒素態が土中で生成されていることがわかる。当然、土の種類や堆積環境によって溶出能力は異なってくる。現状で土が保有している両窒素態の溶出能力が、自然環境下で賦与さ

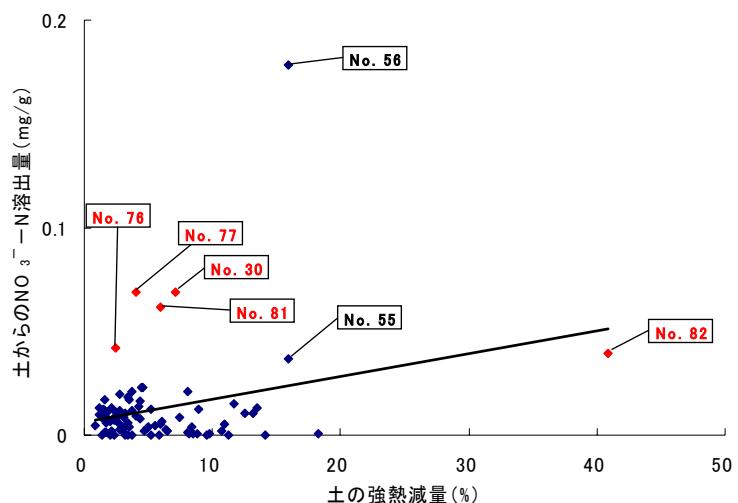


図 5-40 土から溶出する  $\text{NO}_3^-$  - N 濃度と強熱減量の関係

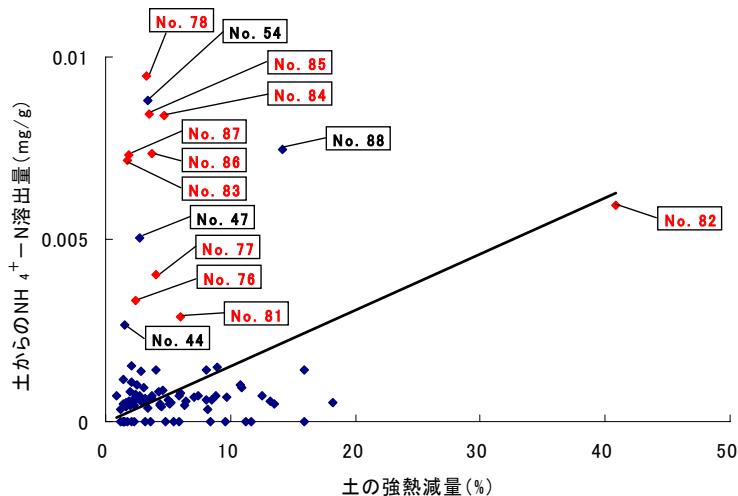


図 5-41 土から溶出する  $\text{NH}_4^+$  - N 濃度と強熱減量の関係

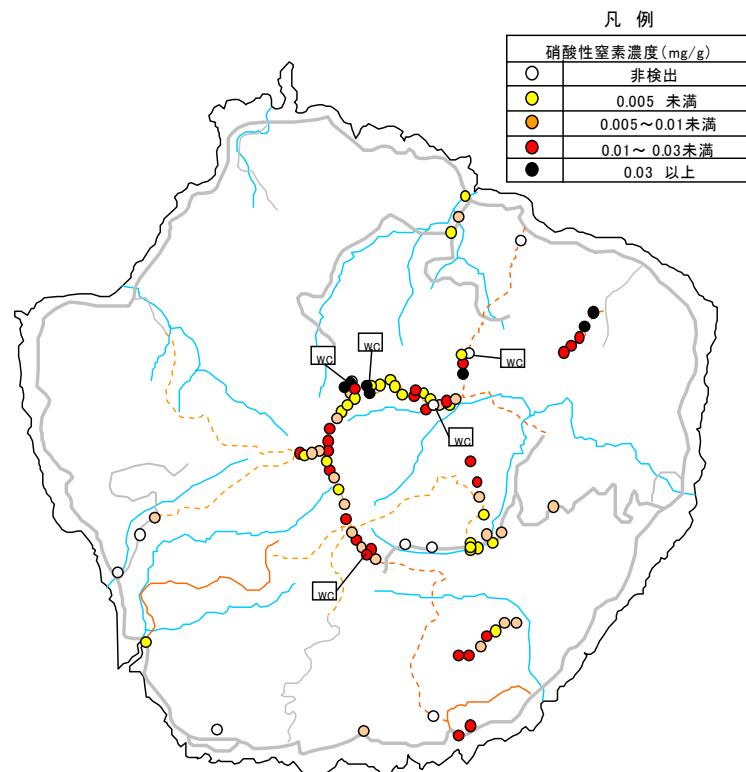


図 5-42 土溶出水の硝酸性窒素検出地点

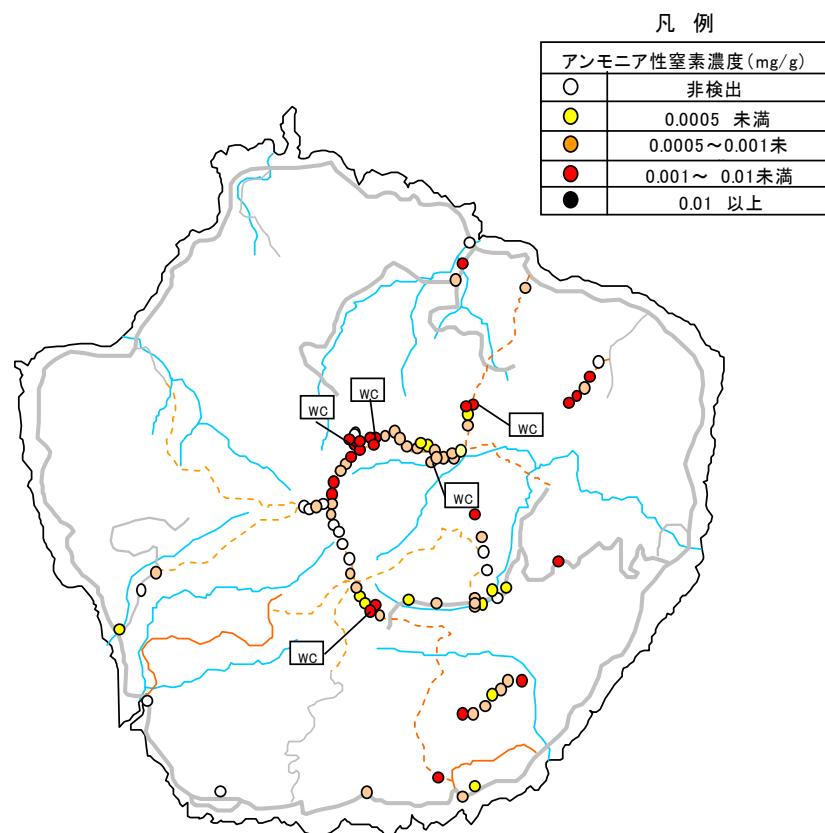


図 5-43 土溶出水のアンモニア性窒素検出地点

れたもの(自然起源由来)か、あるいは人為的要因で付与されたもの(人為的起源由来)か否かを厳密に判定することはかなり難しいが、周辺に堆積している土壤の溶出性と対比して判断すると、避難小屋(トイレ付)近傍や人気の高い山岳登山道沿いの土壤では、入山者の活動行為に伴う人為的要因に起因して、両窒素態による土壤汚染や、さらにその土壤から溶出した窒素態による周辺水辺の水質汚染が進展している可能性が高いといえる。両窒素態による土壤・水質汚染に関する基準値からみれば問題のない値ではあるが、今後、定期的なモニタリングや汚染の拡大進行を防止する対策を確立していくことが望まれる。

## 5. 6 むすび

日本の縮図ともいわれ、亜寒帯から亜熱帯までの植物層が生育する屋久島は、世界的にも類例をみない樹齢千年を超える屋久杉の巨樹林が群生繁茂し、その太古の森に抱かれるように多種多様な生態系が育まれている自然豊かな島である。本章では、主要な環境因子である降水、自然水(河川水、瀑布水、湧水等の地表水)、土壤に着眼し、それら環境因子の化学組成の特徴を究明すると共に相互の化学的因果関係について横断的な論述を加えることで、屋久島特有の自然環境創世術の一端を解明することに力点を置いた。洋上のアルプスと形容される独特の島形は途轍もない降水環境を創世し、巨樹林が群生する深い山岳森林を潤して多種多様な生態系を育んでいる。降水は水形態を自然水に変えるが、海塩起源の化学的遺伝子を潜在的に保有したまま Na-C1 型水質タイプとなって、急峻な河床勾配を一気に流落して海に注いでいる。このような自然水の流況環境が地層からの化学成分の取り込みを低減させ、溶存化学成分量の極めて少ない「超軟水」という我が国でも稀な水質の自然水が生成され、このミネラル養分に乏しい水環境が山岳森林や動植物の生態系を支え、太古からの「<sup>いのち</sup>命の水」となっている。

世界自然遺産登録を契機に入山者は急増し、入山者の経年的活動行為に伴う人為的要因に起因した環境負荷が自然水や土壤環境に顕在化しつつある。特に避難小屋(トイレ付)やトイレの設置とその施設の在り方の検討や入山者へのマナーの徹底は、周辺の自然環境を保全するためにも緊急を要する課題といえる。また水・土の汚染源や汚染域の拡大・進展防止のためにも、水・土環境に関する長期的な視点からの定点的モニタリングシステムを構築することが期待される。

## 第6章 枯死に伴う樹葉の化学成分組成の評価

### 6. 1 はじめに

土壤生成学分野の権威ロシアの土壤科学者 Dokuchaev は、「土壤(S)」の形成に関わる重要な生成因子として母材(P)、地形(R)、気候(C1)、生物(O)および時間(T)であるとして、これらの諸因子と土壤生成との関係を下記の方程式で表現している<sup>23)</sup>。

$$\text{土壤}(S) = f \{ \text{母材}(P)、\text{地形}(R)、\text{気候}(C1)、\text{生物}(O)、\text{時間}(T) \}$$

式中の生成因子はそれぞれ相互に関連し因果関係を有するが、土壤の生成過程では独立変数と考えている。「土壤」はその下層に堆積している岩石とは本質的に異なり、母材(土の材料)、地形、気候および動物・植物などの作用を受けて生成されたそれ自体が独立の形態を有する自然物体とみなし、一般に、土壤専門家は「土壤」の概念を次のように定義している<sup>23)</sup>。

『土壤は地表部における気候・生物・母材・地形の自然環境因子と人間活動および時間的因素の影響のもとで、岩石の風化である無機物質と動植物・微生物の遺体及びその分解物である有機物質の相互作用によって垂直方向に分化した物理的、化学的、生物的に異なる土層の集合した体制をいい、高等植物の根の生育を支持できる部位をいう』

このことは土壤が深さ方向に物理的、化学的、生物的性質の異なる幾つかの層に分かれて堆積し、いわゆる土層が分化した状態にあることを意味している(図 6-1)。土壤学ではこれらの層は上層から A 層、B 層、C 層と呼び区分している。A 層は地表面に近接して堆積し、気候・動植物・微生物等の作用を最も受ける層で、土の色は黒色、無数の植物根、活発な微生物活動、土臭があり、ほぐれやすい小団粒の集合体となっている。B 層は A 層の下部に位置する層で、A 層から移動してきた粘土、有機物、鉄、炭酸塩類等が集積していることもある。植物根は多少認められ、こぶし大の団粒が集合している。C 層は土層の母材となる層で、岩石の風化作用を受けて生成された土粒子鉱物が主体で、植物根は無く、無臭で土塊の集合も認められない。

本研究では地表面から深さ 10~30cm 程度の表層部の土、いわゆる土壤学的な土層区分でいえば、A と B 層で大半は A 層にあたる。先述した白神山地と屋久島で対象とした土、それぞれ 64

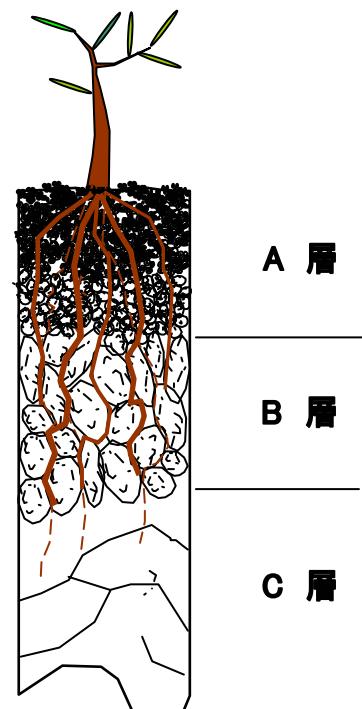


図 6-1 土層の分化

サンプルと 88 サンプルでの酸化物組成の平均値を求め、両遺産地域での土の構成成分を図 6-2 と図 6-3 に例示している。両土の構成成分は、当然、岩石の風化作用に起因する無機物質からの生成と動植物・微生物の遺体や分解作用に起因する有機物質からの生成によっている。ここでは無機物質と有機物質からの生成量をそれぞれ区分することはできないが、A 層に分化される表層土が大半であることから、両構成成分には含有有機物の指標である強熱減量値が 30~50% を超える有機物を多量に含んだ土の結果も含まれている。土の有機物量と化学成分との関連については、4.5 節と 5.5 節で土から溶解する硝酸性窒素とアンモニア性窒素について考察した。両窒素態は水質汚染の指標ともなっている成分である。

植物の細胞組織には、たんぱく質(アミノ酸等)や核酸などの窒素化合物が全乾燥質量で 5~30% 含まれており、植物体内で生理的に重要な役割を果している<sup>24)</sup>。窒素分は水溶性の無機質の形態で植物体内に取り込まれることから、土中には無機質塩類の形態の窒素分が多量に含まれることが必要とされている。天然の岩石は窒素分を含有していないので、土中に含まれる窒素分には主に二つの供給経路がある。大気中の窒素ガスが亜酸化窒素になり亜硝酸あるいは硝酸となって雨水に溶け込み地上に降下する経路と、もう一つは、生物的作用によって窒素分子がアンモニアを経て有機窒素化合物になる経路で、量的には、後者の供給経路が圧倒的に多い。一般に、土中に存在する有機物は、①バイオマスを構成する生きた微生物、動物集団、植物根、②新鮮植物遺体及び易分解性の有機物、③生物の攻撃に対してかなり安定した腐植物質の三種類からなると定義されている<sup>24)</sup>。しかし通常、土壤有機物は大型動物や大型植物遺体を除いた、土中の全有機成分を指す。有機物の分解が進行し安定した腐植物質には、腐植酸、フルボ酸、ヒューミンなどの窒素元素を組織成分に取り込んだ有機物が含まれている。

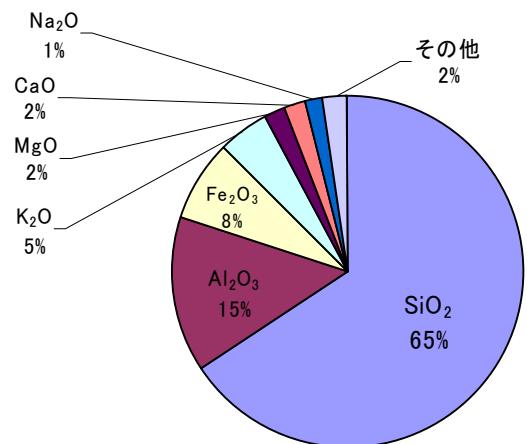


図 6-2 白神山地の土の酸化物組成（平均値）

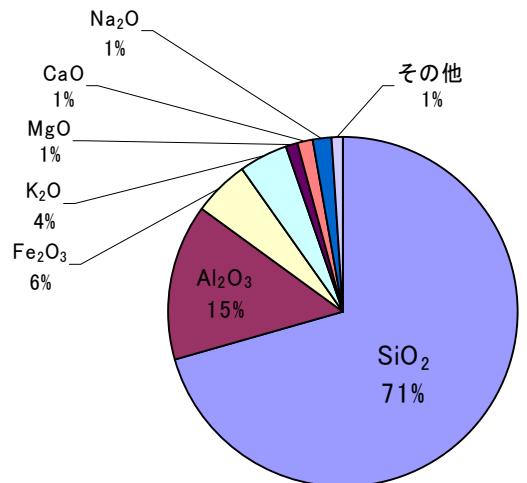


図 6-3 屋久島の土の酸化物組成（平均値）

植物は養分源の元素成分として、図 6-2 や図 6-3 で示した土の化学成分組成の無機物質をすべて利用しているのではない。土から水にイオンとして溶解したカルシウム、マグネシウム、カリウムなどが養分元素となっている。窒素同様に鉄、硫黄、隣、マンガン、銅、亜鉛などの元素成分もまた、水溶性の塩類として植物体内に供給されている。

そこで本章では、広葉樹林や落葉樹林等の森林山岳域を想定し、樹林の樹葉等(落葉や枯葉等)が地上に落ち腐植分解過程を経て土中有機物に変質する化学的メカニズム解明に役立てるための基本的な考察を試みている。即ち植物体が生物的作用を受けて腐植物質に変質する過程で、有機物の化学成分組成にどのような変容が生じ、またその変容が土や土中水の化学成分組成にどのように関与しているのかを究明する一助として役立てることを目的としている。具体的には白神山地一帯に繁茂していたブナを中心にコナラ、タブノキ、マテバシイ、シロダモ、オオシマザクラ、イチョウ、フウからなる 8 種類の樹木の樹葉を対象として、まず樹葉の基本的な形態(寸法・質量・含水率)を計測した後、蛍光 X 線回折装置により樹葉の化学成分組成の分析を試みている。樹葉は各樹木で生育している状態の樹葉(以後「生葉」と呼ぶ)と地上に落ちた状態の樹葉(以後「枯葉」と呼ぶ)の 2 種類を準備し、樹葉の状態と樹木の種類による違いに着目して考察を進めている。なお考察では、各樹木において同一樹木での樹葉 20~30 枚に関する分析データの平均値を用いて主に論じている。

## 6. 2 対象樹葉の形態(寸法・質量・含水率)

根毛から吸水された土中水は浸透圧作用によって表皮、皮層、内皮、木部をへて道管に達する。さらに導管から水は上昇し茎を通って葉や体内の各部分に供給され、光合成等の物質代謝に利用されている。根から吸い上げて葉から蒸散する水分量は、植物体内の含水量を遥に上回り、100 倍近くにも相当するとされている<sup>25)</sup>。このように植物は大量の水分を体外に蒸散することから、それを補給する水分を絶えず土中から吸い上げる環境が必要とされる。根からの吸水が蒸散による水分を補給できない不バランスの状態が長く継続すると、植物は枯死することになる。蒸散現象は外気圧と葉裏面にある気孔内部の細胞間隙との水蒸気圧の差によって起こっており、いわゆる水の蒸发现象である。深い森林域を形成し樹林が自生していくためには、大量に蒸散される水分量を供給できる巨大な貯水タンクが地中に必要となる。そのため森林での活発な蒸散作用を支える保水性の高い土壤形成は、まさに「緑のダム」と称される涵養の森林が発達するのに不可欠な由縁となっている。一般に土壤が 1 時間当たり水を吸い込む量は、平均的に、森林域では約 260mm、森林伐採跡地では約 160mm、草地では約 130mm、裸地では約 80mm、

踏み固められた歩道等では約 10mm で、特に「緑のダム」を育む豊かな森林土壤では最大で 400mm にも達するとされている<sup>26)</sup>。森林形成には蒸散作用を支える土壤の保水性が重要な関わりを持っていることが理解される。

そこで、ここではまず、樹木の蒸散作用や光合成活動を営む樹葉の基本的な形態についてまとめている。ブナを主体に対象とした 8 種類の樹木の樹葉（「生葉」と「枯葉」）について、その寸法、質量、含水率を計測している。樹葉の寸法は縦と横向で、長手方向の寸法としている。含水率は 80°C で 48 時間炉乾燥し、損失質量（水分量）

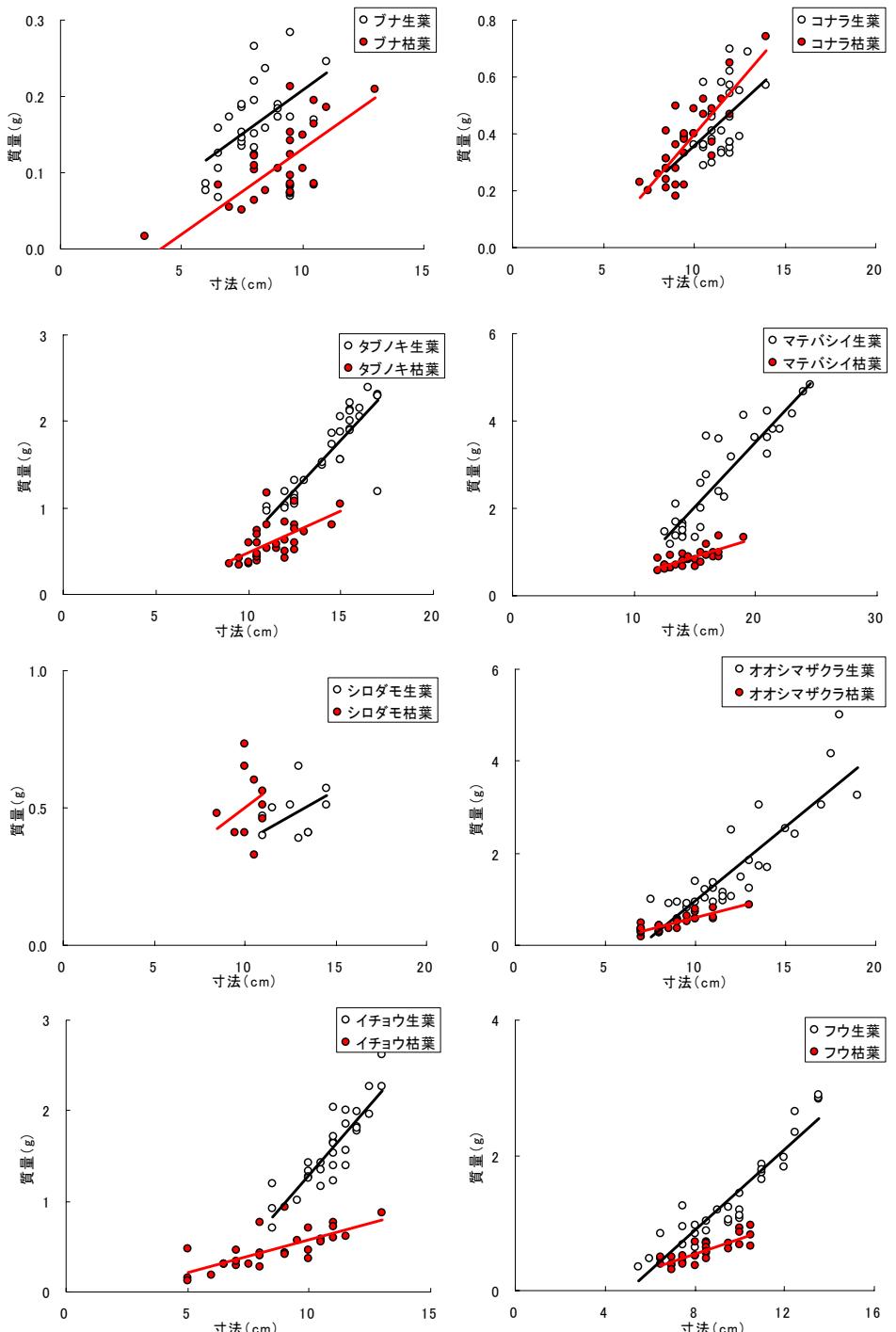


図 6-4 各種樹葉の寸法と質量の関係

に対する乾燥質量の比を百分率で表示している。なお各樹葉では 30 枚程の計測を行いその平均値を求めている。各樹葉の「生葉」と「枯葉」において、個々の「葉」での寸法と質量の関係及び含水率の状況を示したのが図 6-4 と図 6-5 であり、平均値で表示したのが図 6-6 である。「生葉」が落葉して「枯葉」となると寸法において 10~30% ほど縮んで小形になり、質量は大きく減少して軽量になる。これは「生葉」の場合には、気孔内部の細胞間隙が蒸散作用のため

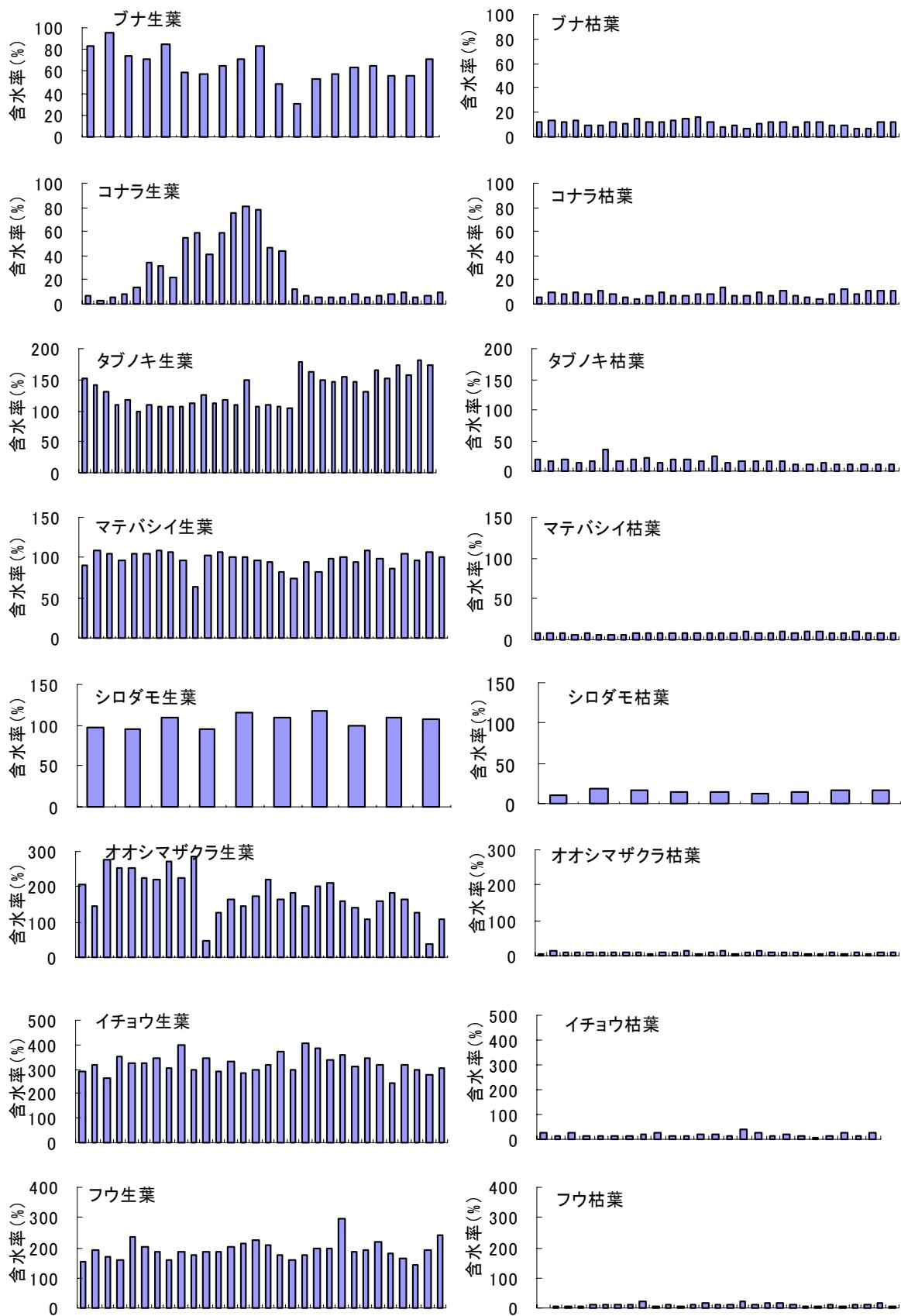


図 6-5 各種樹葉の含水率

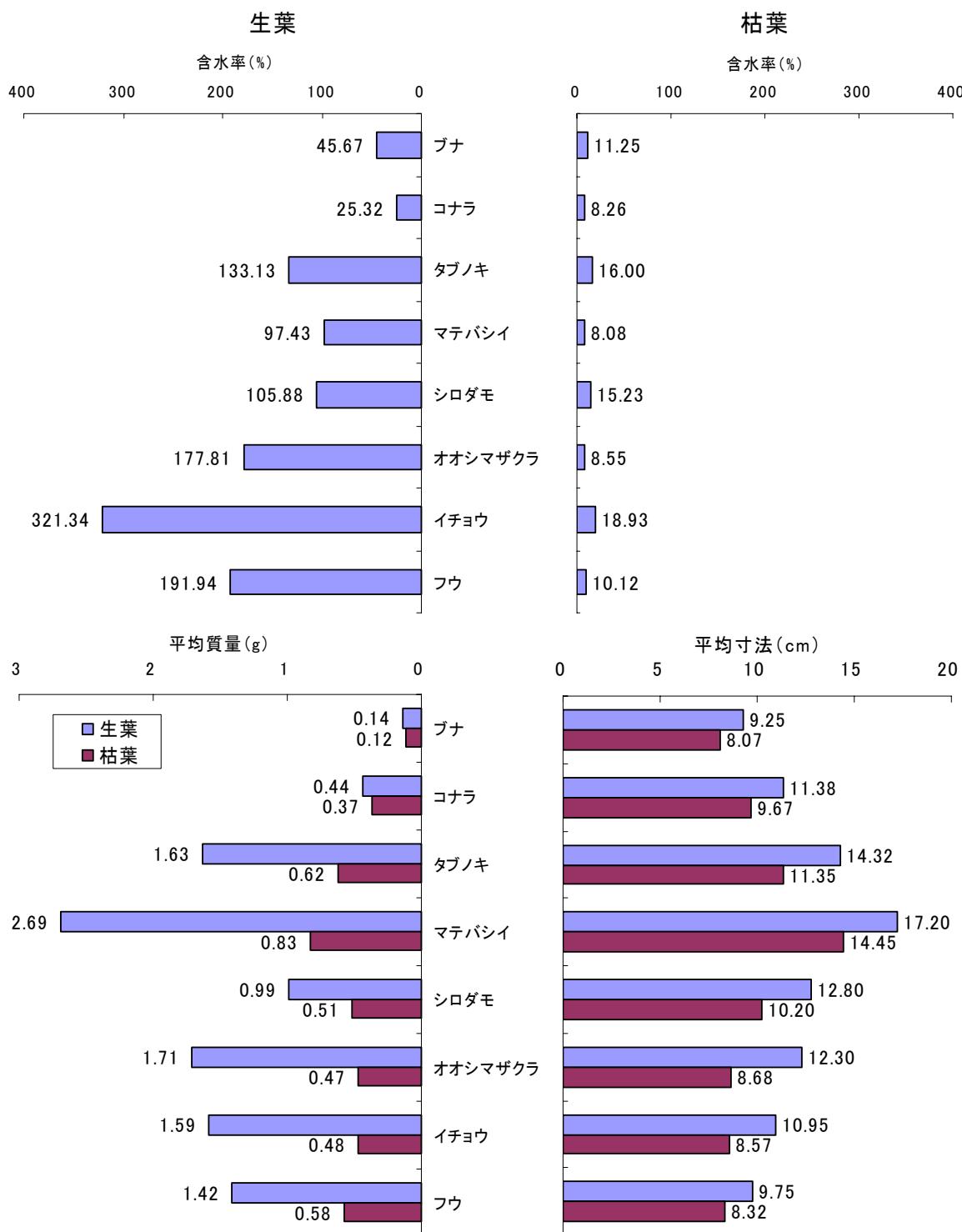


図 6-6 各種樹葉の寸法・質量・含水率（平均値）

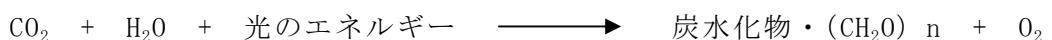
に、常に水蒸気で飽和された状態が保持されているためである。蒸散活動が樹種で異なるため、当然、「生葉」においても含水率は異なり、それに呼応して質量も変化する。平均値で「生葉」の含水率をみると、ブナとコナラは 80% 前後、タブノキ、マテバシイ、シロダモは 100% 前後、オオシマザクラとフウが 200% 前後、イチョウが 300% 前後の含水率となっている。図 6-5 に示す

ように、同一樹種の「生葉」でも含水率がかなり異なっている場合がある。これは「葉」の大きさの違いに加え、外気の湿度・気温・風力等の気候状況によって、細胞間隙の水蒸気圧が変化し蒸散量も変わるために含水率に影響が及んでいるものと思われる。一方「枯葉」の場合には、根毛からの吸水補給がないため蒸散活動は停止され、気孔内部の細胞間隙の水分が一方的に喪失し乾燥化が進んで、質量及び含水率の低下をきたしている。「枯葉」では、個々の「葉」間でのばらつきもほとんど無く、各樹種で 10~20% の含水率となっている。

### 6. 3 樹葉の化学成分組成

植物のような有機体の細胞組織を構成している主要な成分元素は炭素(C)、酸素(O)、水素(H)、窒素(N)とされている。これらの主要元素を基調として炭水化物、たんぱく質、脂質、核酸などの複雑な有機化合物が合成され、球根、根茎、種子、果実、葉などの細胞質や細胞壁が増長し、植物は生長する。この炭水化物、たんぱく質、脂質(脂肪)は植物の三大要素と称されそのうち、炭水化物と脂質は C、O、H の三元素からできている。炭水化物としては水溶性の糖や不溶性のでんぶんなどがある。でんぶんは多数の糖分子が鎖状に連結した巨大分子構造を有している。また植物の細胞壁の主成分であるセルロースも多糖類の炭水化物で、分解するとブドウ糖となり最後は二酸化炭素と水に変容する。たんぱく質は C、O、H の三元素に窒素(N)や硫黄(S)が入った有機化合物で、体内に吸水されたアンモニア成分などで合成されたアミノ酸等から生成されている。

植物の栄養の中心は光合成である。光のエネルギーを使って空気中の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)と吸上げた水(H<sub>2</sub>O)から糖類やでんぶんなどの炭水化物を合成する。このはたらきは炭酸同化作用とも呼ばれる。



植物の葉では二酸化炭素はまず気孔から入り、細胞間隙を通って葉緑体の柵状・海綿状細胞に達する。光合成で生成された酸素(O<sub>2</sub>)は逆の道筋をたどって気孔から植物体外に放出される。毎年、光合成によって二酸化炭素から炭水化物に転化される炭素量は、地球全体で 2,000 億トンに達し、そのうち約 90% は海水と淡水に生息する藻類、残りの 10% が陸生植物の光合成によっているとされている<sup>25)</sup>。光合成では同時に有機酸の産物が生成され、それがまた根から吸収した無機養分と化合して、アミノ酸、たんぱく質、核酸などの生体構成物質を生成している。

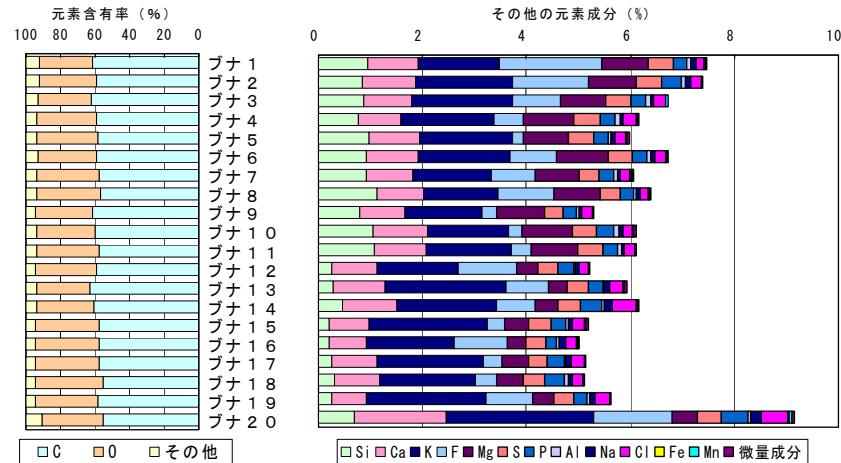
炭水化物をはじめ植物体の細胞質に含まれる多くの生体構成物質の成分で、三大要素(C、O、H)に加えて、植物の生育には、さらに多量養素と微量養素と呼ばれる 12 個の養分元素が必要と

される。窒素(N)、カリウム(K)、隣(P)、カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)、硫黄(S)の6種類の養分元素は、比較的多量に必要とされている元素で、多量養素とされている。この多量養素の10万分の1程度でたりる鉄(Fe)、その鉄よりさらに低い濃度でたりる亜鉛(Zn)、マンガン(Mn)、銅(Cu)、ホウ素(B)、モリブデン(Mo)の6種類が微量養素の養分元素である。これらの無機養分元素は、いずれも水溶性塩類やイオンの形態で根毛から吸水され植物体内に取り込まれる。これらの無機養分元素は、元素のタイプによって細胞内に蓄積される濃度の度合が異なっている。一般に  $K^+$ 、 $Cl^-$ 、 $NO_3^-$  は  $Na^+$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$  に比較して蓄積度合の高いイオンとされている。なお植物の生育に害を与える必要ではないとされる無機養分元素もある。代表的なものは塩類を形成するナトリウムと塩素である。さらに珪酸は珪酸塩の形態で細胞壁に沈着し、またアルミニウムは花色を変色させることで害を与え、望まれない養分元素とされている。このように植物体は種々の複雑な有機物質と無機物質とからできており、それらを構成している成分もまた多種多様な元素によって形成されていることが理解される。当然、樹木の種類や樹木の部位などで細胞質や細胞壁をつくっている成分元素の組成は異なることが予想できる。

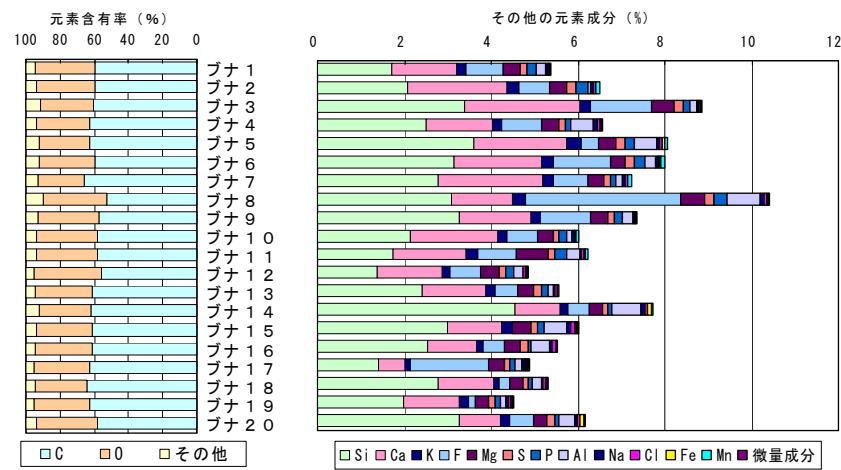
そこで本節では、8種類の樹葉を対象に「生葉」と「枯葉」での主要元素成分を蛍光X線回折分析で求め、樹木間の相違や枯死化に伴う樹葉の元素成分組成の変化について考察する。さらに樹葉の成分組成を基調として、土の成分組成や土から溶出する化学成分との関連についても若干の考察を加える。まず樹葉間で元素成分組成にどの程度の差異がみられるのかを示したのが図6-7で、代表例として白神山地でのブナの「生葉」と「枯葉」の樹葉をそれぞれ20枚分析した結果である。検出された樹葉の成分元素は炭素(C)、酸素(O)、ケイ素(Si)、カルシウム(Ca)、カリウム(K)、フッ素(F)、マグネシウム(Mg)、硫黄(S)、リン(P)、アルミニウム(Al)、ナトリウム(Na)、塩素(Cl)、鉄(Fe)、マンガン(Mn)、インジウム(In)、ジルコニウム(Zr)、ストロンチウム(Sr)、パラジウム(Pd)、モリブデン(Mo)、ヒ素(As)、トリウム(Th)、ニオブ(Nb)、鉛(Pb)、ビスマス(Bi)、臭素(Br)、ルビジウム(Rb)の26個である。そのうちIn、Zr、Sr、Pd、Mo、As、Th、Nb、Pb、Bi、Br、Rbの12個の成分元素は、検出量は微量であり、樹種によっては検出されない元素もある。有機物であることから成分元素の大半は炭素(C)と酸素(O)が占め、Si、Ca、K、F、Mg、S、P、Al、Na、Cl、Fe、Mnの12元素が少量検出される。ここではCとO以外の成分元素をその他の元素とし、上記の12元素以外の元素を微量成分として表示する(図6-7の右図参照)。なお分析装置の機能上、成分元素である水素(H)と窒素(N)は検出不能なため両元素を除いて、各成分元素の含有量を質量百分率で表示している。図6-7で「生葉」と「枯葉」での各「葉」間での成分組成の状況をみると、炭素(C)、

酸素(0)、その他の成分元素(Si、Ca、K、F、Mg、S、P、Al、Na、Cl、Fe、Mn)において、その含有率の差異は小さい。いずれの「葉」でもCと0の両含有率が80~90%を占めており、その他の元素成分が5~10%程度となっている。その他の成分元素(Si、Ca、K、F、Mg、S、P、Al、Na、Cl、Fe、Mn)では「葉」毎でその含有率に多少差異は認められる。

一連の成分元素における含有率のばらつき状況を、ブナの「生葉」を例に示したのが図6-8である。図中には20枚を分析した平均値も明示している。炭素(C)が55~65%範囲で平均値が約59%、酸素



(a) 生葉



(b) 枯葉

図6-7 ブナの元素含有率

が30~40%範囲で平均値が約35%となっている。含有率が3%未満のその他の成分元素では、含有率の低い元素ほどそのばらつきがほとんどないことがわかる。同一樹種における「葉」間の元素成分組成の相違は、対象としたブナ以外の他の7樹種においても同様の傾向であった。

そこで今度は、樹種間での元素成分組成を比較してみる。図6-9にはブナを含め8樹種の「生葉」と「枯葉」での成分元素の含有率について平均値(20~30枚の葉)を用い、炭素(C)と酸素(0)及びその他(Si、Ca、K、F、Mg、S、P、Al、Na、Cl、Fe、Mn)に区分して表示している。さらに図6-10には各元素の含有率が約数%未満でその他に含まれる元素の詳細を明示している。まず図6-9での結果をみると、いずれの樹種においても「生葉」と「枯葉」間では炭素(C)、酸素(0)、その他の三者の含有率にはほとんど変化が生じていないことがわかる。「枯葉」状態は光合成と蒸散活動が停止した枯死状態で、植物生理学的には大転換の状態とみなせる。乾燥化が進み質量は激減するが、しかし生物的な腐植分解作用が始まっていない状態にあることから、

「生葉」時の成分元素がまだほとんど保持された状態にあるためと解釈できる。この三者の含有率は樹種によって多少異なっている。

炭素(C)の含有率はタブノキとマテバシイでは比較的高く 80%を超え、ブナ、コナラ、シロダモ、オオシマザクラ、イチョウでは 60 ~70%程度、フウでは 50%未満となっている。酸素(O)の場合には大半が 20%前後の含有率であるが、ブナとフウは 30%を超える値となっている。

光合成で生成される炭水化物は三大要素(C、O、H)でつくられる化合物で、植物体の細胞間隙や細胞壁などを増長する栄養成分である。それゆえに樹種によって三大要素である炭素(C)と酸素(O)の含有率が異なっているのは、炭水化物を主体としてつくられる「葉」の細胞組織の構造的な違いによるものと考えられる。「枯葉」はやがて土壤の生物作用によって土壤有機物に腐植分解される。「葉」の炭水化物はいずれ生物の攻撃にも安定な腐植物質(腐植酸、フルボ酸、ヒューミンなど)や二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)と水(H<sub>2</sub>O)に変容する。「葉」の主要元素である炭素(C)と酸素(O)はこのような物質の生成に利用されることになる。

次に各樹種の樹葉に、総含有率で数%~20%未満程度含まれている「その他の元素成分」(Si、Ca、K、F、Mg、S、P、Al、Na、Cl、Fe、Mn)について考えてみる。樹葉が落葉すると「その他の元素」もまた、いずれは土壤有機物として腐植分解する過程で溶脱する。その際、金属イオンや水溶性のイオンなどとして土中水に溶け込んだり、土粒子表面に吸着したりするものや、不溶性塩類を形成するものなどがある。これらの元素は、本来、土壤有機物の生物作用や岩石の風化作用によって生成された無機質の水溶性成分で、根毛から水と共に吸上げられて「葉」の細胞組織に吸収・内蔵されたものである。このうち光合成で、窒素(N)はアミノ酸(たんぱく質)、隣(P)は核酸として有機物質の生成にかかわり、「葉」の細胞組織の構成元素ともなる。図 6-10 をみると、樹種によって各元素の含有率はかなり異なっているが、5%を超える含有率は数例で、大半は 2%未満の含有率となっている。樹種によって多少異なるが、含有率の比較的高い値を

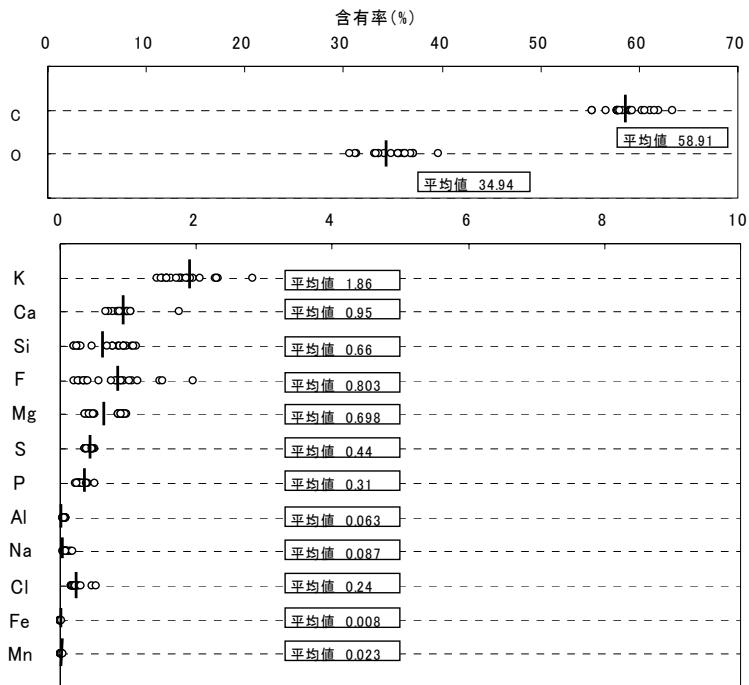


図 6-8 ブナの生葉における元素含有率のばらつき

示した元素はケイ素(Si)、カルシウム(Ca)、カリウム(K)、マグネシウム(Mg)、塩素(Cl)である。また「生葉」から「枯葉」に枯死することで、元素の含有率に増減が認められる。含有率の増減を見易くするために、図6-10での結果より、「その他の元素」の総含有率を100%として、各元素の含有率を再度示したのが図6-11である。枯死することで、概ね含有率の増加する元素はケイ素(Si)、カルシウム(Ca)、アルミニウム(Al)、鉄(Fe)である。全樹種でAlとFeの増加は微増であるが、Siはタブノキ、フウ、ブナで、Caはオオシマザクラで増加割合が高い。減少する元素はカリウム(K)と塩素(Cl)で、特にKは全樹種でその減少割合が大きく、オオシマザクラでは1/3に減少している。他のフッ素(F)、マグネシウム(Mg)、硫黄(S)、隣(P)、ナトリウム(Na)、マンガン(Mn)は樹種によって多少増減しているが、含有率のほとんど変化していない元素である。このように「生葉」から「落葉」になると何故、成分元素の種類で増減の仕方が異なるのかについての理由は不明である。ただ活性度の高い「生葉」状態と

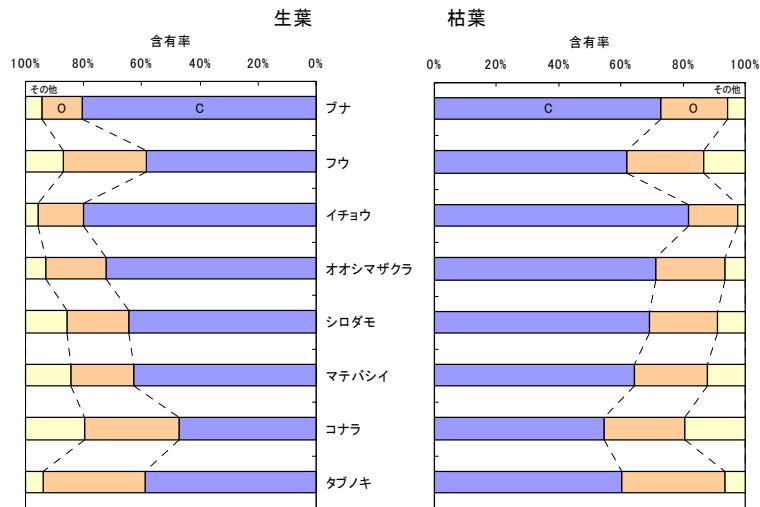


図6-9 各種樹葉のC、O、その他の含有率(平均値)

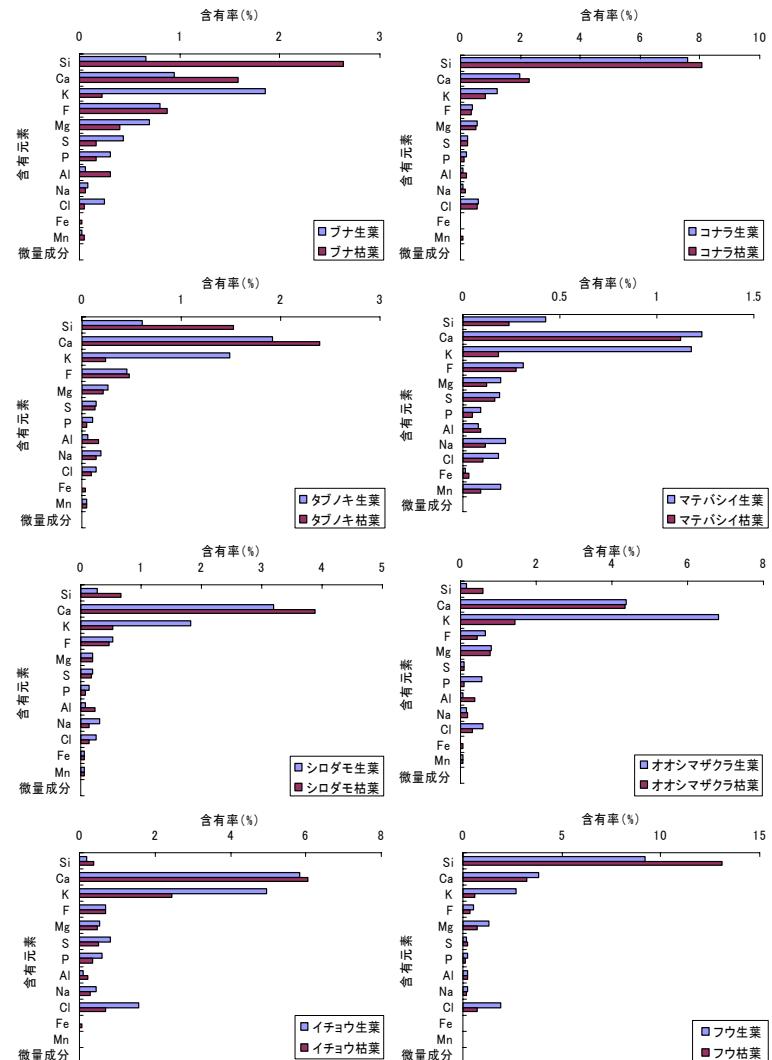


図6-10 その他の元素の含有率(平均値)

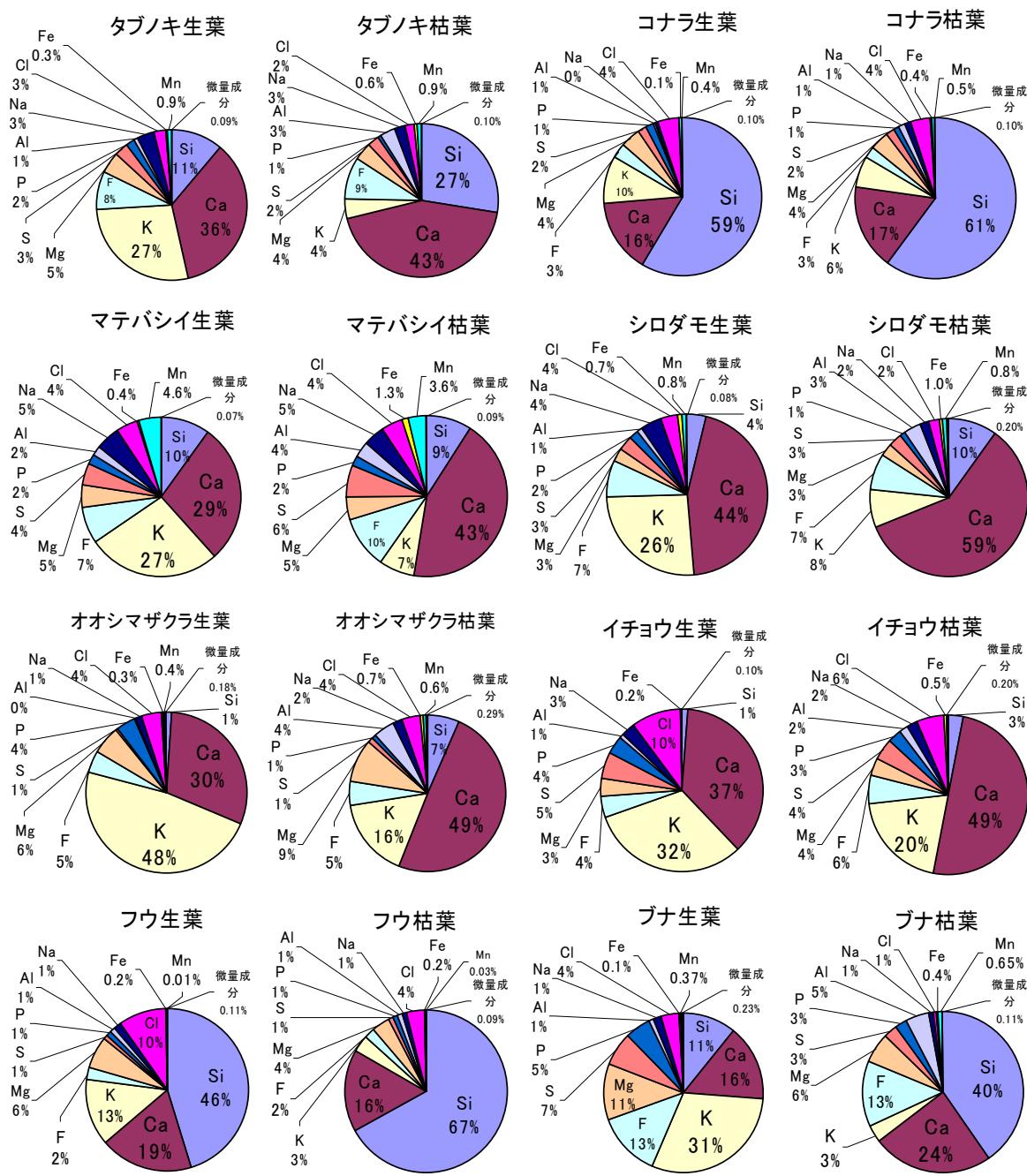


図 6-11 その他の元素含有率 100% 表示 (平均値)

落葉直前で活性度の低下した「生葉」(枯葉に近い)状態では、両細胞組織の機能に大きな差が生じており、細胞に吸収される養分元素成分に影響が及んでいるためではないかと推察される。即ち細胞機能の低下により根から吸上げた無機養分元素の吸収濃度や吸収速度に変化が生じるためと考えられる。当然このような活性度の低下に伴う養分元素の吸収能力は樹種によって異なるものと思われる。このように考えると、上述の「生葉」と「枯葉」での「その他の元素成分」の相違がある程度理解できる。

## 6. 4 樹葉の腐植分解

前節では8種類の樹木の「樹葉」を対象に、その元素組成を分析することで、「生葉」から「枯葉」に枯死化する過程での成分元素の変化について、植物栄養学的視点を加味して若干の考察を加えた。ここでは、このような樹葉が「枯葉」となって落葉し、生物作用を受けることで、土壤有機物に変質する過程のメカニズムを科学的に概説すると共に、生成される化学成分の移動や役割等について論じる。

図6-12は樹葉を対象に一枚の「生葉」が「枯葉」となって地上に落葉し、生物的作用によって分解が始まり、分解の進展に伴い腐植物質が生成され、やがて土壤有機物として安定化するメカニズムを概説した略図である。図中にはそれぞれの段階での主な化学成分の生成や移動等を併記している。樹葉は根毛から吸上げた水分を気孔内部の細胞間隙から絶えず蒸散すると共に、光合成で光のエネルギーを利用して、水( $H_2O$ )と二酸化炭素( $CO_2$ )から生成した酸素( $O_2$ )を大気に放出すると同時に、炭水化物、たんぱく質、脂質、核酸などの各種有機物の合成を行い、葉体内の細胞組織の増長を図り、成長している。葉体内に吸引される土中水には、水溶性塩類からのイオンや、金属イオンなどの無機質イオンが主に溶存しており、これらの化学成分は降水による地中浸透、土壤有機物からの腐植分解、岩石の風化作用による鉱物土粒子からの溶脱などが主流となって生成されている。樹葉等の植物の生育には、これらの化学成分のなかで、比較的多量に必要とされる多量養素(N、K、P、Ca、Mg、S)と微量ではあるが必要とされる微量

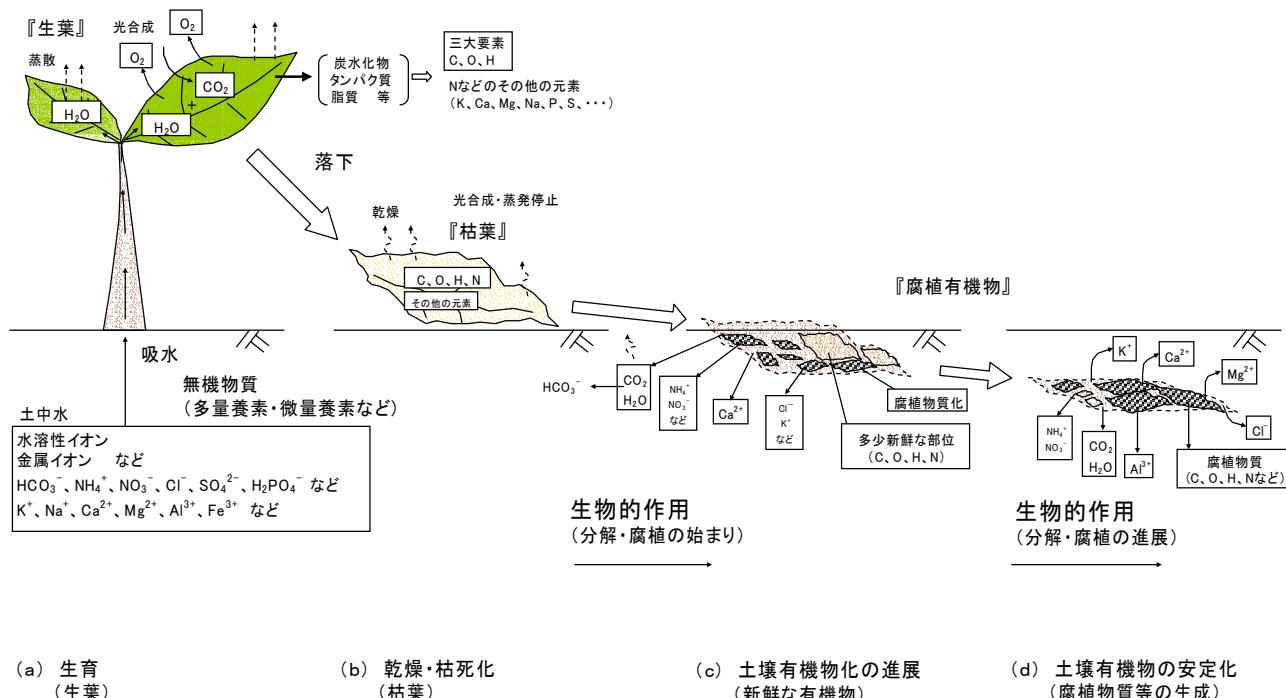


図6-12 「樹葉」腐植の概略図

養素(Fe、Zn、Mn、Cu、B、Mo)と呼ばれる12元素は必須な元素とされている。このような多種多様な無機物質の化学成分が水と共に取り込まれ、葉体内の細胞組織に養分元素として吸収されている。

植物は土壤の土層分化でいえば(図6-1参照)、A層やB層の地表に接近した生物的作用の活発な表層部に根網を張り養分元素を吸収している。降水がやがて自然水(河川水、溪流水、瀑布水、湧水、地下水など)に水形態を変え流下浸透する地表水の水質特性を、第4章では白神山地、第5章では屋久島について詳述した。白神山地では159サンプル、屋久島では91サンプルの自然水を分析している。図6-13には、各総サンプルの平均値を求め、両自然遺産登録地域での自然水に溶存している主要なイオン成分をそれぞれまとめている。既に論述したので、ここでは水質的な特徴等については記述しないが、両遺産登録地域での森林山岳域を潤している自然水に溶存している代表的な化学成分組成を表している。白神山地の秘境に世界最大級で広がる原生的ブナ林や屋久島の小島に群生する世界的に類例を見ない太古からの屋久杉の巨樹林は、具体的には、大昔から、図6-13に示す主要化学組成の自然水を、葉体内の細胞間隙や細胞壁から吸収し、無機質の養分元素として細胞組織に内蔵してきたことになる。

上述したように、樹葉は養分元素として各種の無機質元素を土中水から吸収すると共に、光のエネルギーを利用した光合成で、炭素(C)、酸素(O)、水素(H)の三大元素に加え、窒素(N)、硫黄(S)、磷(P)などの養分元素を用いて、炭水化物(C、O、H)、たんぱく質(C、O、H、N)、脂質(C、O、H)、核酸(C、O、H、P)などの有機物質を合成し、細胞組織の増長と成長を図っている。しかしながら、「生葉」は枯死化して樹枝から地上に落下し「枯葉」となる。前節で詳述したように、「生葉」状態で営まれていた蒸散・光合成作用が停止した「枯葉」状態では、根毛

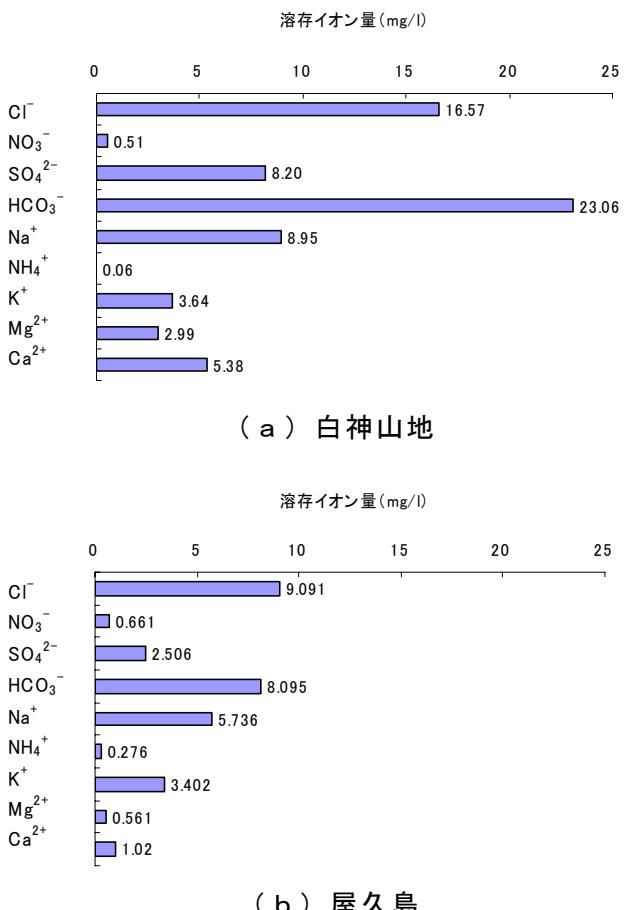


図6-13 自然水の溶存イオン量(平均値)

からの水分補給が絶たれているため、徐々に乾燥が進み樹葉の質量に低下が起こる。落葉直後に近い状態では、葉体内の大半の細胞組織を構成する主成分である炭水化物、たんぱく質、脂質などの有機物質(C、O、H)や吸収された無機物質はほとんど保存された状態にある。特に炭水化物などの有機物質を構成している主要元素である炭素(C)と酸素(O)には、「生葉」と「枯葉」間でほとんど差異はないが、無機物質の元素組成に多少変化がみられる。これは落葉の時季が迫ると細胞組織の活性度の低下によって、イオン成分の吸収機能も低下するためと思われる。

図6-14には白神山地でのブナの樹葉(「生葉」と「枯葉」)について、炭素(C)と酸素(O)を除いた成分元素の総含有率を100%として、各元素の含有組成を再整理している(ブナの樹葉それぞれ20枚の平均値)。ブナの場合、分析した総成分元素の中で炭素(C)が58.9%、酸素(O)は34.9%の含有率を占めており、両元素以外の成分元素の含有率は6.2%であった。この6.2%の含有率を100%に換算し、その中でも含有率の高い順に9元素を表示したのが図6-14の結果である。ちなみに極微量元素として、他に14元素を検出しているが、ここでは省略している。「枯葉」に変質することによって、増減する元素やほとんど含有率の変わらない元素もある。このような有機物質と無機物質の化学組成を有する「枯葉」は、やがて土壤細菌や土壤微生物などの生物的作用によって腐植分解が始まり、土壤有機物として土壤に転化していくことになる。

落葉した樹葉の腐植分解のメカニズムや進行速度等に関する事項は、自生する樹種の森林生態系を始め、当然、降水、気温、湿度等の森林気候環境に加え、土壤中の細菌・微生物類の生息状況に関わる土壤生物の生態環境に大きく支配されていることは言うまでもない。生物的な分解作用を支配する種々の要因はあるが、「枯葉」が「腐植有機物」へと生物的作用によって分解する過程で、細胞組織の主要成分であった炭水化物、たんぱく質、脂質などの有機物質は、最終的には無機物質となって、二酸化炭素( $CO_2$ )と水( $H_2O$ )に分解していく。一部は生物の分解作用にも安定な土壤有機物となって土壤生成に寄与する。このような土壤有機物には腐植酸、フルボ酸、ヒューミンと呼ばれるものがある。これらの土壤有機物では、主要な成分元素である炭素(C)が55~58%、酸素(O)が30~40%、水素(H)が3~6%、窒素(N)が3~6%含有してい

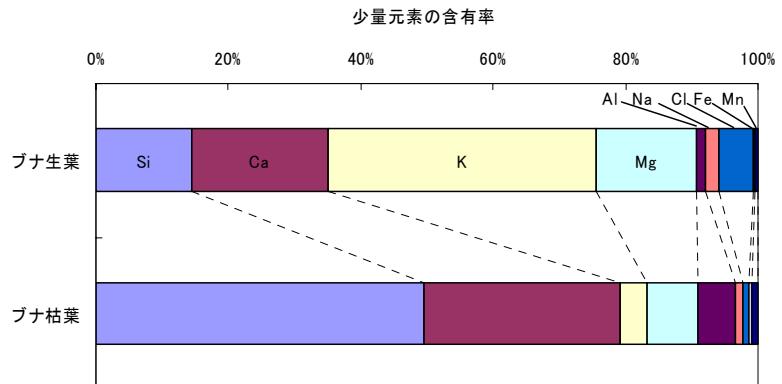


図6-14 ブナ樹葉における微量元素の含有率(平均値)

る<sup>24)</sup>。炭水化物(C、O、H)などの有機物質の分解で生成された二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)は、不飽和土中では土粒子間隙に1~3%程度存在するとされている。地表面から大気中にも放出されるが、大半は土中水に溶解して重炭酸イオン(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)に変容し、岩石の風化作用などに関与することになる。さらに有機物質の分解過程では、「生葉」状態時に養分元素として細胞組織に吸収された無機質元素が溶出する。金属イオンなどの陽・陰イオンや水溶性の塩類イオンとなって、土粒子表面に吸着したり、土中水に溶解したりする。たんぱく質(アミノ酸を含む)のような有機窒素化合物は、生物作用によって最終的にはアンモニア(NH<sub>3</sub>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)などに分解され、やがて亜硝酸菌や硝酸菌の作用でアンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)は亜硝酸イオン(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)から硝酸イオン(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)に変化し、土中に存在することになる。このアンモニア成分は分解中の土壌菌や微生物の活動そのものからも生成され、同様に、酸化作用を受けて硝酸化される。この窒素態であるアンモニア性窒素や硝酸性窒素は水道水や自然水などの飲料に際しての水質指標ともなっている。

また土の酸性度も土壤学的には重要な指標である。酸性度を左右する主要な因子もまた、土壤有機物の分解作用や岩石の風化作用によって生成される金属イオン(Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Al<sup>3+</sup>など)である。降水など、特に近年のように酸性度の強い酸性雨などの流水が、地表面から浸透すると、有機物や土粒子表面に吸着・付着あるいは土粒子骨格間隙に吸引されている金属イオンが溶脱されて、土の酸性度が高まる。即ち侵入する流水中の水素イオン(H<sup>+</sup>)と土中の金属イオンとの間に陽イオン交換反応が生じ、有機物・土粒子表面や間隙中の水素イオン(H<sup>+</sup>)濃度が増加して、土の酸性度が高まることになる。一層土の酸性度が進行すると、吸着・付着力や結合力の強い重金属類などの溶出が起こる。降水の多い地域などでは、土中の金属イオンが流され、酸性度の高い土となっている場合が多い。逆にアルカリ性土は土壤有機物や粘土粒子からの金属イオンの供給量に富んだ堆積環境にある。

白神山地(4.5節)と屋久島(5.5節)に関する章において「山岳の水場」汚染問題の観点から、両自然遺産地域での自然水と土壤に関する硝酸性窒素とアンモニア性窒素の濃度実態について論じたが、図6-15には、両遺産地域での土壤から溶出し得る可能な濃度として代表的な化学成分について示している。これらの結果は、総土サンプル(白神山地では64サンプル、屋久島では88サンプル)の平均値として表示している。この溶出量の結果には、土壤有機物(分解途上も含む)からのものと土粒子鉱物からのものが含まれている。両者の供給度合についてここでは論じないが、対象とした土サンプルは有機物含有量のかなり高いサンプルも多く、表層土であることから、土壤有機物の関与によるイオン成分の溶出量もかなり高いと思われる。特に、屋久島の自然水や土壤で懸念されたアンモニア性窒素と硝酸性窒素には、土壤有機物の生物的な分

解作用の他に、人為的要因の影響が加わっている可能性が高いものと判断される。いずれにせよ、このように樹葉が「生葉」から「枯葉」となって生物作用を受け、安定な土壤有機物となって土壤として転化するまでに、多種多様な有機物質や無機物質が関与し分解・生成・溶解・溶脱などが繰返されている。自然水などの水に溶解した化学成分は、再び植物の養分元素として体内に吸収され、細胞組織の成長に不可欠な役割を果し、樹葉と土壤間の養分元素の循環が繰返されることになる。当然、土壤有機物の腐植・分解作用で生成された多種多様な化学成分は、自然水はもとより土壤の化学成分組成をも変化させる重要な役割を担っている。

## 6. 5 むすび

本章では、自然水と土壤の化学成分組成や土壤から溶出する化学成分の評価に役立てる目的から、8種類の樹葉を対象に、「生葉」が枯死化し「枯葉」として落葉し、さらに生物的分解作用を経ていずれは安定した土壤有機物となり、土壤形成に転化する一連の過程について科学的に考察した。ここでは、特に「生葉」と「枯葉」との化学成分組成の変質に着目し、植物栄養学的視点と土壤化学的視点を交差することで、植物から土壤有機物の腐植過程で生成・分解・溶解・溶脱される多種多様の化学成分は、自然水や土壤の化学組成を支配している重要な因子となっていることを再認識することができた。今後の課題ではあるが、「枯葉」から腐植酸・フルボ酸・ヒューミンなどの安定した腐植物質に至る間の分解度合の異なる土壤有機物の化学的性状を究明することは、豊かな森林山岳域を形成している白神山地・屋久島の両自然遺産地域での水・土環境の実態やその成り立ちを支えている自然的要因を一層深く解明することに役立つものと確信する。

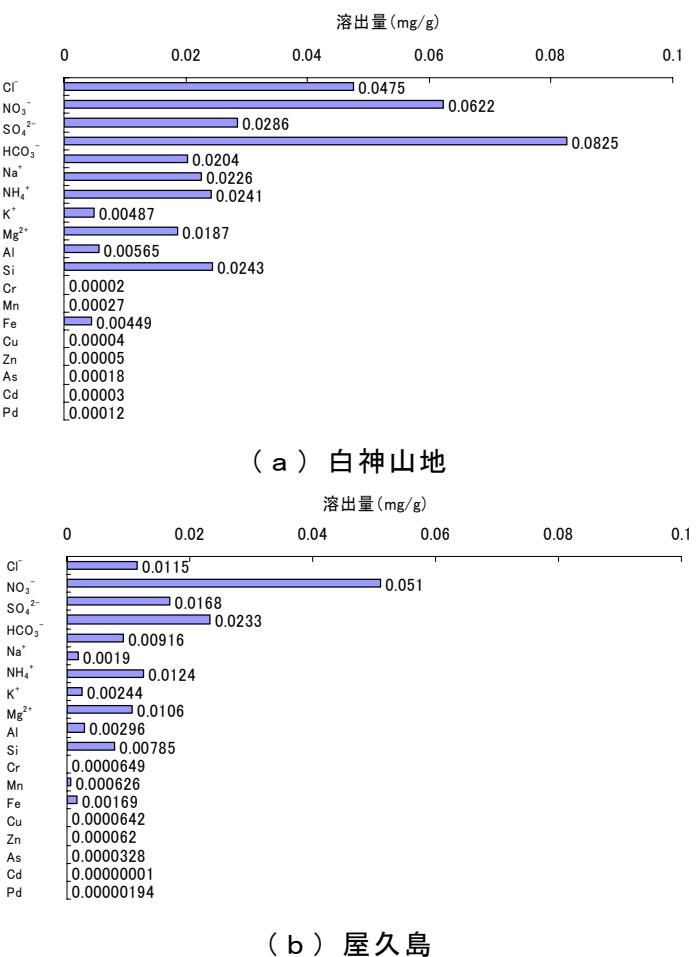


図 6-15 土からの溶出量 (平均値)

## 第7章 結論

1993年12月9日に我が国で初めて世界自然遺産に認定され、人類共通の普遍的価値を有する地球の財産として登録された日本の原自然を代表する「白神山地」と「屋久島」を事例として、その「自然の魅力」と「貴重性」を水・土環境の実態評価を通して、科学的に論述した。本研究で得られた主要な知見を結論として要約する。

- (1) 世界的に類例を見ない原生的なブナの極相林が密林し、多種多様な生物生態系を育んでいる白神山地の自然環境を支えている主な要因には、地上水の供給源である恵まれた降水環境、網の目の様に水流する自然水環境、その自然水の水質を支配する土環境が互いに横断的な因果関係を保有し、化学的に交差する関係が成立っているところにあり、その自然のメカニズムの一端を降水・自然水・土を構成する化学成分組成の定量的な評価から理解された。海塩起源の影響を強く受けた降水の水質は、地表を流下浸透する自然水の水質にも遺伝子的に確実に受け継がれ、白神山地一帯を潤す自然水の水質タイプを二分する要因となっている。山岳域海側西方麓での自然水は海塩的成分が反映されたNa-C1型タイプ、山岳域中央部東方麓での自然水は地層から適度のミネラル成分を取り込んだ軟らかいCa-HCO<sub>3</sub>型タイプの水質を形成しており、山岳奥に源を発したこれらの自然水は河川、溪流、瀑布、湧水、地下水となって流下浸透し、自然観溢れる流況環境や豊かな水景観を創世し、森林山岳域の動植物の生態系を支えていることが理解された。
- (2) 亜熱帯から亜寒帯までの植物生態が海拔2,000m付近まで垂直分布し、樹齢数千年の屋久杉の巨樹林が群生繁茂する屋久島の自然環境の特異性を創出している主因には、毎年途轍もない量の降水が生成され、その降水が高峰山岳域で自然水に水形態を変えると、海塩起源の化学的遺伝子を潜在的に保有したままNa-C1型の水質タイプとなって、花崗岩の露頭した峻険な山岳斜面を一気に流落し、海に注ぐ気象・地象環境にあることが理解された。このような自然水の流況環境は地層から供給される化学成分の溶け込みを低減させ、溶存化学成分量の極めて低い「超軟水」という我が国でも稀な水質の自然水を創世しており、このミネラル養分に乏しい水環境が、巨樹林の群生する深い森林や生物生態系を潤し、太古からの「生命の水」となっているという屋久島独特の自然環境創世術の一端が解明された。

- (3) 広葉樹林や落葉樹林が密林する涵養の森林を育む樹葉は、「生葉」から「枯葉」となり生物作用を受けて、安定な腐植有機物に転化するまでに多種多様な有機物質・無機物質が関与した分解・生成・溶解・溶脱を繰返して、水・土環境の実態やその成因を支える重要な化学的因素となっていることが理解された。白神山地のブナの樹葉を中心に種々の樹葉の分析から、樹葉は養分元素として各種の無機元素(K、Ca、Mg、P、S、Al、Feなど)を土中水から吸収すると共に、光のエネルギーを利用した光合成で炭素(C)、酸素(O)、水素(H)、窒素(N)などの養分元素を用いて炭水化物(C、O、H)、たんぱく質(C、O、H、N)、脂質(C、O、H)などの有機物を合成し、細胞組織の生長を図っている。「生葉」が枯死し「落葉」になると蒸散・光合成は停止され、乾燥化が進み「葉」の質量は低下するが、落葉直後に近い状態であれば、有機物質と無機物質はほとんど保存された状態にあることが分かった。さらに「枯葉」は土中で生物作用を受けて、炭水化物等の有機物質が最終的には二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)と水(H<sub>2</sub>O)に分解し、一部が安定した腐植物質として土に転化する過程で、生成された化学成分は土中水や土の化学組成を左右する重要な役割を担っていることが、植物栄養学・土壤生成化学的考察から認識できた。
- (4) 全国的に深刻化しつつある「山岳の水場」の水質汚染問題に関する硝酸性窒素とアンモニア性窒素濃度の実態評価については次のような見解が得られた。
- 遺産登録以来、審査入山許可制を導入し、登山ルートの指定を設け、入山マナーの徹底を図ってきた白神山地では、さらに浄化式トイレ設備が遺産地域一帯周辺に適当数配置されていることからも、硝酸性窒素とアンモニア性窒素に関する両窒素態と人為的要因との間には因果関係は見出されず、現状ではまったく問題ないことが検証された。これに対して制約・規制を採らず自由な入山を受け入れてきた屋久島の場合には、トイレ施設の不足が指摘され、しかも大半は垂れ流し式トイレ付き避難小屋が点在していることから、避難小屋近傍や人気の高い山岳登山道沿いでは、周辺域での自然水・土よりもかなり高い濃度の両窒素態が検出され、入山者の経年的活動行為に伴う人為的要因による可能性の高いことが判明した。水質・土壤汚染の観点からは濃度的にはまだ問題はないが、山岳域でのトイレ施設の改善・不足解消や入山マナーの徹底を図ることが緊急課題とされる。
- (5) 人類共通の普遍的価値を有する地球的財産として認定登録されている世界自然遺産は、現在、世界中に149件(2003年7月時点)あり、そのうち我が国では「白神山地」と「屋久島」

の2件である。かけがえのない地球の財産として、両遺産地域が発する、圧倒的な迫力をもって万人を惹きつける「自然の魅力」を、未来永劫守り続けていくためにも、降水・自然水・土に関する自然環境を支配する重要な環境因子を対象とした、長期的な視点からの定点的モニタリングシステムの構築が望まれる。遺産人気や登山ブームで入山者は今後も益々増加することが想定できる。特に遺産登録地域一帯を取り囲むように主要な水場を設定し、観測地点として定期的に水質のモニタリング調査を実施し、貴重な自然環境の監視と保全に努めることが肝要と結論する。

以上、本研究の成果が我が国の山岳域における自然環境の保全活動の一助として役立てられることを期待する。

## 謝 辞

本論文は、防衛大学校システム工学群建設環境工学科教授 山口晴幸先生のご指導によりとりまとめられたものです。山口晴幸教授には、私が研究科での研究生活を送るにあたり、ご多忙中にもかかわらず公私にわたりご指導を頂きました。研究はもとより調査等に同行させて頂き、研究に対する姿勢をはじめ、自然の偉しさ、人生の奥深さ、様々な物事の考え方を教われましたことは私にとって大きな財産となりました。本研究において得た様々な知識や経験をこれから仕事や人生に活かせるように精進していきたいと考えております。山口教授からの親身なご指導をここに深く感謝いたします。

また、同助教授 宮田嘉壽先生には、研究に対する的確なアドバイスや思考過程等を教えて頂き、研究を進める上で大変参考になりました。同助手 末次大輔先生、同助手 重久伸一先生には、同室で2年間大変お世話になりました。普段から研究のみならず、人生の先輩として様々な相談を聞いて頂き、研究で行き詰った時などに明るく励まして頂いたことは決して忘れません。先生方に対しここに感謝の意を表します。

さらに、大事な時期にも関わらず、2年間という貴重な期間を与えて頂いた陸上自衛隊関係者各位、防衛大学校関係者各位に対し、ここに深く感謝の意を表します。

最後に、2年間の研究科生活において喜怒哀楽をともに分かち合った研究科学生と研修生の先輩方、同期、後輩に対し、感謝の意を表します。 ありがとうございました。

## 参考文献

- 1) 根深誠：白神山地ブナ原生林は誰のものか、pp. 86-87、TSURIBITOSHA、2001.
- 2) 本多勝一：日本環境報告、pp. 37-74、朝日文庫、1992.
- 3) 野添憲治・北川智彦：世界遺産白神山地からの発信、pp. 76-120、同友館、1995.
- 4) 国立公園協会：白神山地自然環境保全地域総合調査報告書、国立公園協会、1995.
- 5) 鹿児島地質調査研究会：鹿児島県の地質、鹿児島地質調査研究会、1967.
- 6) 屋久町立屋久杉自然館：館内のパネル説明版参照、2004.
- 7) 田川日出夫：世界の自然遺産屋久島、NHK ブックス No. 686、日本放送出版協会、pp. 139-142、1995.
- 8) 山口晴幸：世界自然遺産「屋久島」（II）－巨木樹林を育む水環境－、水利科学、第 43 卷 2 号、（財）水利科学研究所、pp. 37-64、1999.
- 9) 読売新聞社：「トイレの影響？…山の水場に大腸菌」、読売新聞、2001 年 5 月 9 日発行、2001.
- 10) 日本トイレ協会：第 2 回「山の水場・環境報告フォーラム」テキスト、資料編、pp. 1-25、2004.
- 11) 日本トイレ協会：第 2 回「山の水場・環境報告フォーラム」テキスト、pp. 13-79、2004.
- 12) ウィトゥン・ジラワッタナパン：水・土環境の化学的評価に関する基礎的研究、防衛大学校第 40 期研究科卒業論文集、2003.
- 13) 環境省東北地区自然保護事務所：白神山地の入山者数調査、環境省、2003.
- 14) 屋久島環境文化村センター：屋久島の入山者数調査、屋久島環境文化財団、2003.
- 15) 屋久島山岳部利用対策協議会：縄文杉登山者数の推移、屋久島山岳部利用対策協議会、2002.
- 16) 地盤工学会：土質試験の方法と解説－第 1 回改訂版－、地盤工学会、pp. 157-185、2000.
- 17) 桜井弘：元素 111 の新知識、講談社、1997.
- 18) 日本気象協会：気象データひまわり 2000、丸善株式会社、2000.
- 19) 北野康：水の科学、NHK ブックス 92、日本放送出版協会、pp. 83-96、1993.
- 20) 屋久島森林保全センター：屋久島標高別雨量、屋久島森林保全センター、2003.
- 21) 山口晴幸：世界自然遺産「屋久島」（I）－巨木樹林を育む水環境－、水利科学、第 43 卷 1 号、（財）水利科学研究所、pp. 60-84、1999.
- 22) 永淵修：酸性降下物による屋久島の河川への影響、「季刊 生命の島」、pp. 49-53、屋久島産

業文化研究所発行、1998.

- 23) 日本化学会：土の科学、学会出版センター、pp. 19-32、1989.
- 24) 日本化学会：土の化学、学会出版センター、pp. 81-95、1989.
- 25) 小原国芳：玉川新百科 8 「生物学」、誠文堂新光社、pp. 211-296、1971.
- 26) 永井雄人：白神山地ガイドマニュアルパンフレット、白神山地を守る会事務局、2003.

## 学会等における研究発表

2005.3.8 現在

	氏 名	発表題名	発表方法	発表日
1	徳田 淳 山口晴幸 斎藤和伸	世界遺産白神山地の水 環境	第 31 回土木学会関東支部 技術研究発表講演概要 集、2004 年 3 月	2004 年 3 月
2	徳田 淳 山口晴幸	世界自然遺産「白神山 地」－土の化学的性質 －	第 39 回地盤工学研究発表 会平成 16 年度発表講演集、 2368、2004 年 7 月	2004 年 7 月
3	徳田 淳 山口晴幸	世界自然遺産「白神山 地」の自然環境－水・ 土の化学的評価－	第 12 回地球環境シンポジウム 講演論文集、pp69-78、2004 年 8 月	2004 年 8 月
4	徳田 淳 山口晴幸	世界自然遺産「白神山 地」－水・土の化学的 性質－	土木学会第 59 回年次学術 講演会講演概要集、 pp201-202、2004 年 9 月	2004 年 9 月
5	徳田 淳 山口晴幸 熊田未咲	世界自然遺産「白神山 地」－水・土環境の実 態評価－	第 32 回土木学会関東支部 技術研究発表講演概要 集、2005 年 3 月	2005 年 3 月

## 世界遺産白神山地の水環境

防衛大学校 学生会員 ○徳田 淳  
防衛大学校 正会員 山口 晴幸  
防衛大学校 学生会員 斎藤 和神

### 1. はじめに

環境問題が関心を集める昨今、自然環境を世界的な人類遺産ととらえ世界のすべての人に関係するようなきわどい普遍的な価値をもつ世界中の重要なかつ意義深い地域が世界自然遺産に登録され保護されている。そんな世界自然遺産に日本でも2つの場所が登録されている。縄文杉で有名な屋久島と白神山地である。白神山地は北緯40度あたり、秋田県と青森県の県境に位置しており、約13万ヘクタールに及ぶ広大な山岳地帯の総称で、このうちの中心部約1万7千ヘクタールが1993年12月に鹿児島県の屋久島とともに世界自然遺産に登録された。白神山地には人為的影響をほとんど受けていない世界でも類を見ない規模のブナの原生林が分布しており自然の多く残る非常に貴重な地域である。本研究では、白神山地周辺より採取した自然水（河川及び湧き水等）のイオン分析を実施することによりブナの原生林を育んでいる白神山地の水環境について科学的に考察する。

### 2. 調査と試験

2000年8月14日～8月20日にかけて調査を実施した。調査地域である秋田・青森県境の白神山地は南西部の海岸付近に狭小な低地があるほかは、ほとんどが山地である。山地は1000m前後の山々が連なり所々で深い谷が刻まれている。県境の山塊は分水嶺になっており、これから南北ないし北東一南西方向に水系が延びている。図-1に示すように調査地点は、白神山地の山々から流れ出す河川、溪流、湧き水地点を対象とし、コアエリア（厳格に保護される地域）、バッファーゾーン（教育、研究などの目的にのみ使用が許される地域）を取り囲むように83箇所において採水した。調査項目は現地において水温（℃）・水素イオン濃度（pH）・電気伝導度（EC）・高度（m）の測定を実施し、採水した水試料についてイオンクロマトグラフィーを用いて化学成分組成の評価を試みた。

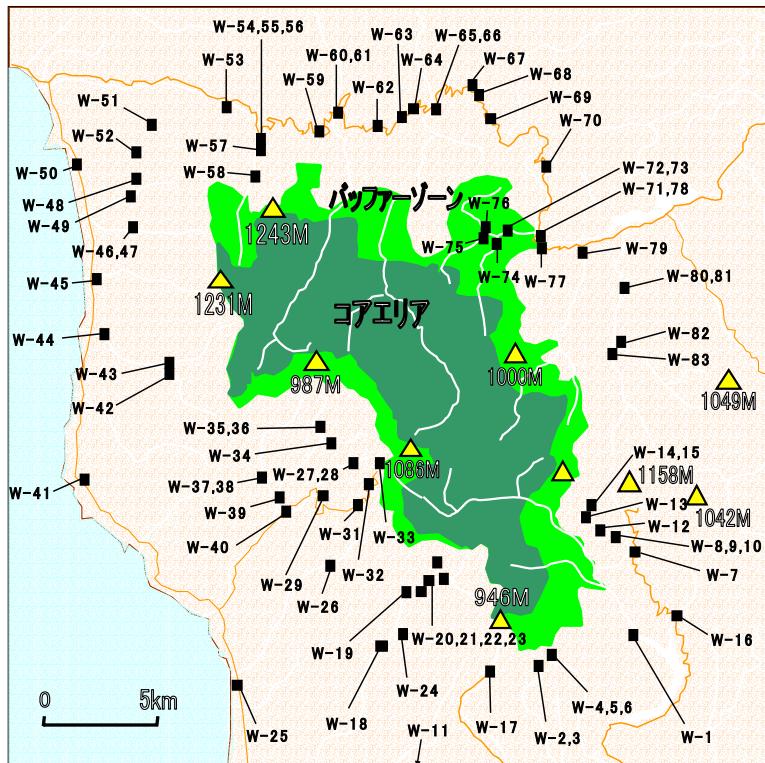


図-1 白神山地における調査地点

### 3. 結果と考察

現地計測した83箇所の地点での自然水のpHとECの結果を図-2に示している。pHについては、6.4～7.7範囲（平均値7.0）で、サンプル数の8割以上が6.8～7.2範囲にあり、弱酸性から弱アルカリ性の中性

キーワード 水環境、イオンクロマト、ヘキサダイヤグラム、トリリニアダイヤグラム

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20 防衛大学校建設環境 TEL 046-841-3810 E-mail [g42055@nda.ac.jp](mailto:g42055@nda.ac.jp)

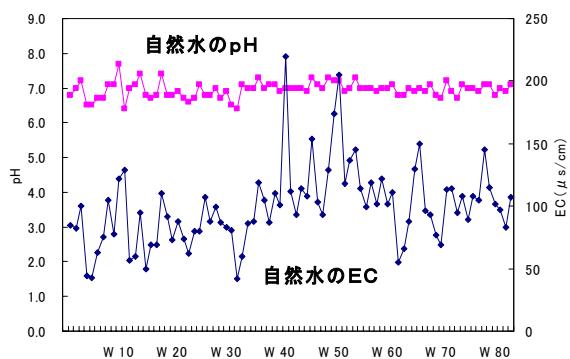


図-2 自然水の pH 及び EC の状況

付近の水素イオン濃度となっている。EC値については、42~220  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (平均値 99  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) 範囲にあり、大部分は 100  $\mu\text{s}/\text{cm}$  前後の値を示している。このEC値は溶存イオン量の目安となる指標で、水質が純水に近いほどその値はゼロに近づく。概ね、白神山地の自然水は、比較的溶存イオン量の低い自然水であると言える。図-3については、自然水の水質をヘキサダイヤグラムで表示している。ヘキサダイヤグラムについては、83箇所の採取地点のうち、代表的な12の地点について表示している。ヘキサダイヤグラムの形・大きさがほぼお互いに類似していることから、白神山地を流下する自然水は、ほとんど同じ溶存イオン組成をなしていると言える。図-4には、自然水のトリリニアダイヤグラムを表示している。これによると、白神山地の自然水は、アルカリ土類非金属(I型)、アルカリ炭酸塩(III型)、アルカリ非炭酸塩(IV型)の水質タイプを呈するものが多少あるが、大半はCa-HCO<sub>3</sub>型のアルカリ土類炭酸塩タイプ(II型)に分類されることがわかる。

#### 4. まとめ

白神山地の自然水を科学的に分析することにより、貴重なブナの原生林を育んでいる自然水の水質的特徴を知ることが出来た。白神山地の周囲を取り巻く自然水は、溶存イオン量が低く、水素イオン濃度はほぼ中性であり、Ca<sup>2+</sup>とHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>を比較的多く含んだ自然水であった。今回は自然水のみについて調査・分析を実施しているが、今後、降水や堆積土等についても調査・分析を試み、豊かなブナ原生林を育む白神山地の水環境を支配する主要な環境因子についてより幅広く科学的に解明することを計画している。

#### [参考文献]

- 1) 中浜地域の地質、地域地質研究報告青森(5) 第35号、P1、1983
- 2) 世界遺産白神山地からの発信、野添憲治・北川智彦編、同友館、1995

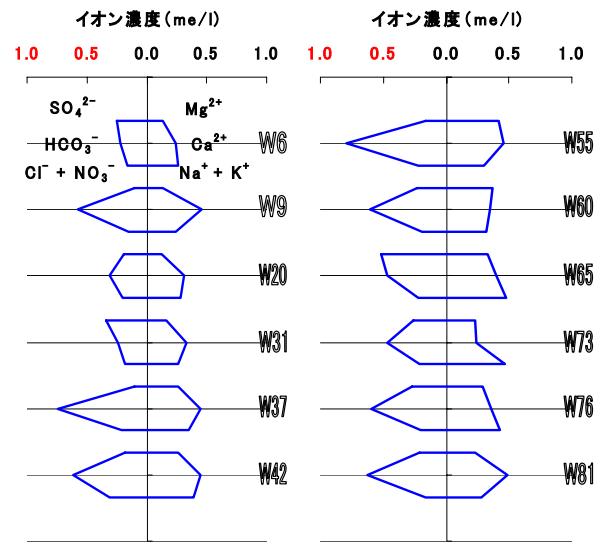


図-3 自然水のヘキサダイヤグラム

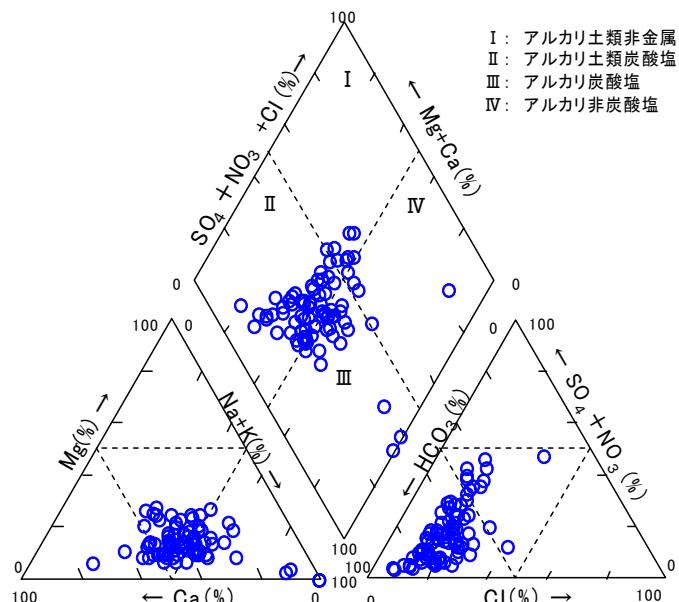


図-4 白神山地の自然水のトリリニアダイヤグラム

# 世界自然遺産「白神山地」－土の化学的性質－

土環境 世界自然遺産 化学的性質

防衛大学校 学生会員 ○徳田 淳  
防衛大学校 国際会員 山口 晴幸

## 1 はじめに

産業革命以降、人類は快適な生活の代償として地球に対し多大なダメージを与えてきた。21世紀を迎えるにあたり、大気・土壤・水質の汚染・緑地の乱伐・地球温暖化等の環境問題がより一層関心を集めている。環境の悪化が騒がれる一方、世界中には世界自然遺産に登録されているような原生林の残る貴重な地域もある。日本でも1993年12月に原生林に恵まれた鹿児島県屋久島とブナの原生林が多く残る秋田・青森県白神山地が登録された。著者らは“自然の魅力”を環境科学的に描写することを目的として、屋久島を初めとして東京都御藏島、沖縄県西表島などの自然溢れる地域での水・土環境の実態を継続調査している。このような視点からの調査の一環として、本報告では、白神山地一帯での土の調査・分析で得られた結果に基づいて、土の化学的性質について論じている。

## 2 白神山地について

白神山地は、青森・秋田の県境に位置し、約13万haに及ぶ広大な山地地帯の総称で、このうちの中心部16,971ha（青森県川12,627ha、秋田県側4,344ha）が、1993年12月に鹿児島県屋久島とともに日本としては初の世界自然遺産に登録された。白神山地は、未だに手つかずの世界でも類例を見ないブナの原生林を保有しており、多種多様な動植物が生息・自生するなど自然に溢れた貴重な地域である。白神山地の地質は、約9,000万年前頃（白亜紀）に形成された花崗岩を基盤に、2,000万年前～1,200万年前頃（新第三紀中新世）の堆積岩（凝灰岩、泥岩、砂岩）とそれを貫く貫入岩類で構成されている。地形については、青森県側に大川、暗門川、赤石川、追良瀬川、笛内川があり、秋田県側に粕毛川が走っていて、各河川の流域を分ける尾根沿いに標高1,000m～1,200m級の山々が連なっている。主なものとして、大川流域に青鹿岳（1,000m）、赤石川流域に魔須賀岳（1,012m）、追良瀬川流域に天狗岳（958m）がある。そして日本海を見下ろすように白神山地最高峰の向白神岳（1,243m）、白神岳（1,231m）がある。

## 3 調査と測定

2000年8月14日～8月20日にかけて調査を実施した。白神山地の世界自然遺産地域は、厳格な保護を要するコア・エリアと研究、教育、保健休養などにのみ利用が認められるバッファー・ゾーンに区分される。図-1は、世界自然遺産登録地域と土試料採取位置について示している。土採取位置は、白神山地一帯を取り囲むように、主に表層部や露頭部を利用して23箇所において実施している。土の分析測定は、土懸濁液と土溶出水の水素イオン濃度（pH）、電気伝導度（EC）及び土溶出液の

主要溶存化学成分について実施した。なお、試験法に準じて土懸濁液のpHとECは、土のpHとECを表している。

## 4 結果と考察

白神山地一帯で採取した一連の試料について、土懸濁液と

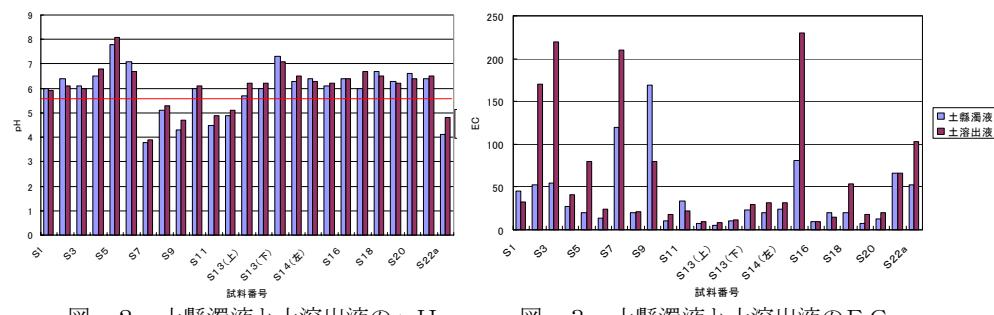


図-1 世界自然遺産登録地域及び土試料採取位置

図-2 土懸濁液と土溶出液のpH

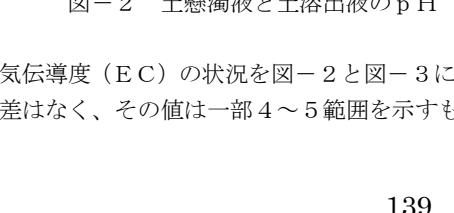


図-3 土懸濁液と土溶出液のEC

土溶出液のpH及び電気伝導度（EC）の状況を図-2と図-3にそれぞれ示している。pHについては、土懸濁液と土溶出液の間にほとんど差はない、その値は一部4～5範囲を示すものもあるが、ほとんどが6～

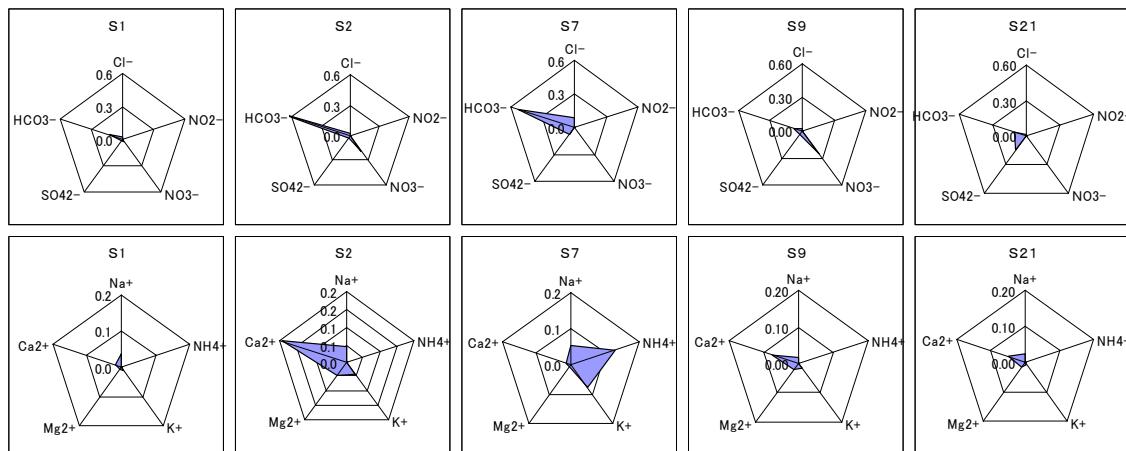


図-3 代表的な土の陰イオンと陽イオンの溶出特性

6. 5範囲の弱酸性となっている。ECについては、採取した土の8割が土懸濁液で $5\text{ }\mu\text{S/cm}$ ~ $45\text{ }\mu\text{S/cm}$ 範囲の低い値を示し、土溶出液の値もほとんどかわらない。これに対し、S2、S3、S7、S9、S15、S21、S22の土については、土懸濁液の値が $52\text{ }\mu\text{S/cm}$ ~ $169\text{ }\mu\text{S/cm}$ 範囲にあり、土溶出液の値が土懸濁液の値の2~3倍に増加している。これらの土は、化学成分溶出能力の高い土であることが推察出来る。図-3は、代表的な土の陰イオンと陽イオンの溶出特性について示している。ここでは土からの溶出イオン量(mg)は乾燥土1g当たりとしてmg/g単位で表示している。主要陽イオン( $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ )の溶出状況をみると、各イオンの溶出量はほとんどが $0.05\text{ mg/g}$ 以下で、全体的には溶出量が低いと言える。しかし、土懸濁液や土溶出液の電気伝導度(EC)が高い値を示していた土は、 $\text{Ca}^{2+}$ の溶出量が $0.1\text{ mg/g}$ ~ $0.2\text{ mg/g}$ 範囲と高い溶出性を示した。 $\text{NH}_4^+$ の溶出量については、S7で $0.13\text{ mg/g}$ 、S22で $0.046\text{ mg/g}$ を示したが、他の箇所では検出されなかった。一方、陰イオン( $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ )の溶出状況をみると、ほとんどの土で重炭酸イオン( $\text{HCO}_3^-$ )の溶出量が最も高く、 $0.06\text{ mg/g}$ ~ $0.728\text{ mg/g}$ 範囲にある。 $\text{NO}_3^-$ は検出されなかったが、 $\text{NO}_2^-$ は、13箇所で検出され、 $0.003\text{ mg/g}$ ~ $0.32\text{ mg/g}$ 範囲で溶出していた。 $\text{Cl}^-$ と $\text{SO}_4^{2-}$ についてはほぼ類似した傾向を示しており、ほとんどが $0.02\text{ mg/g}$ 程度の溶出量であった。図-5は、白神山地一円の83箇所で採取した自然水のトリリニアダイヤグラムを表示している。これによると、白神山地の自然水は、ほとんどが $\text{Ca}-\text{HCO}_3$ 型のアルカリ土類炭酸塩タイプ(II型)に分類されることがわかる。土溶出液の主要溶出イオンの結果でも、 $\text{Ca}^{2+}$ と $\text{HCO}_3^-$ の溶出量が高く検出されていたことから、白神山地の自然水の溶存イオン成分は土の溶出性と密接に関連していることを裏付けていると言える。

## 5まとめ

本報告では世界自然遺産である白神山地一帯の土試料を対象に、土懸濁液及び土溶出液のpHと電気伝導度(EC)の基本的性質に加え、主要溶存イオン成分の化学成分組成について考察を試みた。今後、引き続き白神山地において土のモニタリングを継続していくとともに、土環境と水環境を通して白神山地の自然環境の魅力を科学的に解明していく予定である。

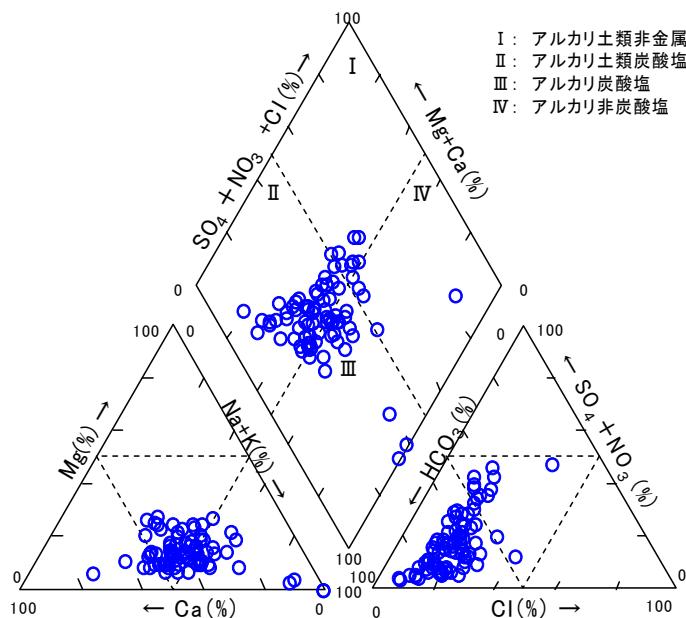


図-5 白神山地の自然水のトリリニアダイヤグラム

# 世界自然遺産「白神山地」－水・土の化学的性質－

防衛大学校 学生会員 ○徳田 淳  
防衛大学校 正会員 山口 晴幸

## 1. はじめに

1993年12月に世界自然遺産に登録された白神山地は、青森県と秋田県の県境に位置し、約13万haに及ぶ広大な山岳地帯の総称である。世界最大規模のブナの原生林1万7千haが世界遺産登録地域として認定されている。産業革命以降、化学技術の発展・進歩に伴い生活の質は向上したが、一方で自然環境は悪化の一途をたどり、環境の破壊は進行し続けている。自然の素晴らしさを訴え、環境保護・保全の一助を担いたいという観点から、著者らは今までにも鹿児島県屋久島、沖縄県西表島、東京都御藏島等の自然豊かな地域において水・土環境の調査・分析を実施してきている。本研究では、白神山地一帯より採取した自然水（河川及び湧き水等）と土試料を調査・分析することによりブナの原生林を育んでいる白神山地の水・土環境について科学的に考察する。

## 2. 調査と試験

2000年8月14日～8月20日にかけて白神山地一帯の自然水（湧水、河川水、地下水）及び土試料の調査を実施した。図-1にそれぞれの調査地点を示している。コアエリア（厳格に保護される地域）、バッファーゾーン（教育、研究などの目的にのみ使用が許される地域）を取り囲むように水試料83サンプル、土試料23サンプルを採取した。水試料については、水温(℃)・水素イオン濃度(pH)・電気伝導度(EC)及びイオン交換クロマトグラフィーを用いた主要溶存化学成分(陰・陽イオン濃度)の測定を実施した。土試料については、土の水素イオン濃度(pH)・電気伝導度(EC)及び土溶出液の主要溶存化学成分の測定を実施した。

## 3. 白神山地の自然水

現地計測した83箇所の地点での自然水のpHとECの結果を図-2に示している。pHについては、6.4～7.7範囲（平均値7.0）で、サンプル数の8割以上が6.8～7.2範囲にあり、弱酸性から弱アルカリ性の中性付近の水素イオン濃度となっている。EC値については、42～220μS/cm範囲にあり、ほとんどが100μS/cm前後の比較的低い値を示している。図-3については、代表的なヘキサダイヤグラムを示し、図-4については、自然水のトリリニアダイヤグラムを示している。ヘキサダイヤグラムとトリリニアダイヤグラムの結果から、白神山地の自然水は、ほぼ同じ溶存イオン組成をなしており、溶存イオン量が比較的低いことがわかった。

キーワード 世界自然遺産、白神山地、水環境、土環境、化学的性質

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20 防衛大学校建設環境 TEL 046-841-3810 E-mail [g42055@nda.ac.jp](mailto:g42055@nda.ac.jp)

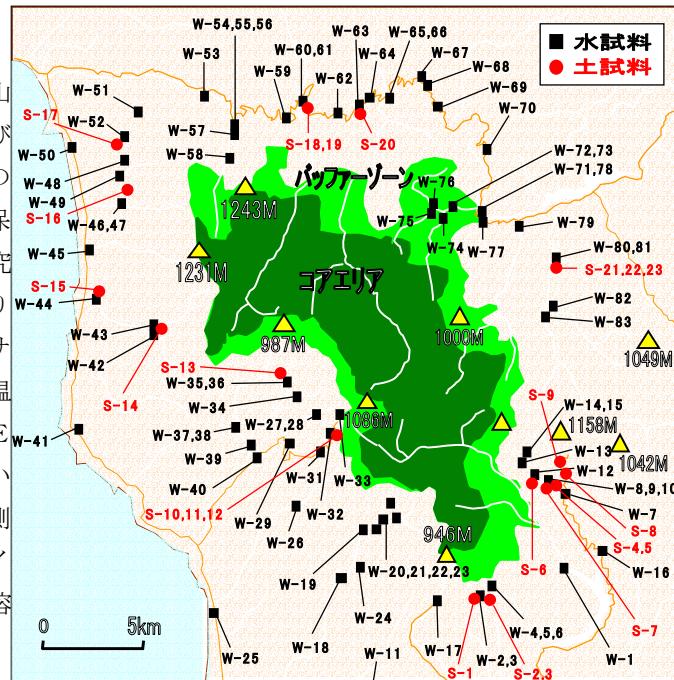


図-1 白神山地における水試料・土試料の調査地点

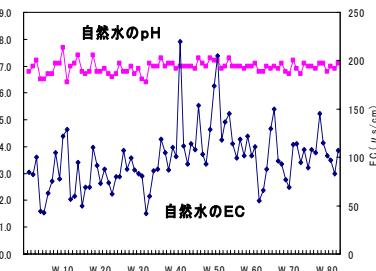


図-2 自然水のpH及びECの状況

る。また、コアエリア及びバッファーゾーンを取り囲むように採水した白神山地一帯の自然水は、大半が  $\text{Ca}-\text{HCO}_3$  型のアルカリ土類炭酸塩タイプ（II型）に分類される水質であることがわかる。

#### 4. 白神山地の土

調査した表層土付近の23箇所の地点での

土のpHとECの値を図-5に示している。pHについては、一部が4～5の酸性を示しているが、ほとんどが6～6.5範囲の弱酸性となっている。EC値については、一部が100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  以上であるが、ほとんどが5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ～45  $\mu\text{S}/\text{cm}$  範囲の低い値を示している。図-6、7は、代表的な地点での土試料100gに溶出する陰イオン、陽イオンのイオン量について示している。陰イオンの溶出量では、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ はほとんどが5mg以下で低い値を示し、 $\text{NO}_3^-$ は5つの地点で10mg以上の値を示している。 $\text{HCO}_3^-$ は半数以上の地点で10mg以上の値を示している。陽イオンの溶出量では、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ についてはほとんどが5mg以下の値を示し、 $\text{Ca}^{2+}$ は半数の地点で5mg以上の値を示している。よって白神山地一帯に分布する表層付近の土では、 $\text{HCO}_3^-$ と $\text{Ca}^{2+}$ の溶出性が比較的高いことが分かった。

#### 5.まとめ

白神山地一帯の水・土試料を分析することにより、原生的なブナ林を育んでいる白神山地の自然環境を水・土の化学的性質を通して若干の考察を試みた。白神山地の自然水は、水素イオン濃度はほぼ中性であり、全体的に溶存イオン量が低く $\text{Ca}^{2+}$ と $\text{HCO}_3^-$ を比較的多く含んでいた。表層土については、水素イオン濃度は弱酸性であり、 $\text{Ca}^{2+}$ と $\text{HCO}_3^-$ の溶出性に比較的富んでいたが、全体的に低いイオン溶出性を示した。一般的に、自然水の水質などの化学的性質を支配する要因の一つに土の溶出性が上げられる。白神山地の自然水についても土の溶出性からの影響を受けていることから、 $\text{Ca}-\text{HCO}_3$ 型のアルカリ土類炭酸塩タイプに分類される水質を呈しているものと推察される。

#### 【参考文献】

- 1) 徳田淳ら(2003.3) : 世界自然遺産白神山地-水環境について- , 第31回土木学会関東支部
- 2) 徳田淳ら(2004.7) : 世界自然遺産白神山地-土の化学的性質- , 第39回地盤工学会

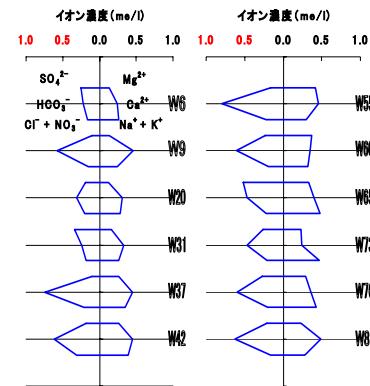


図-3 自然水のヘキサダイヤグラム

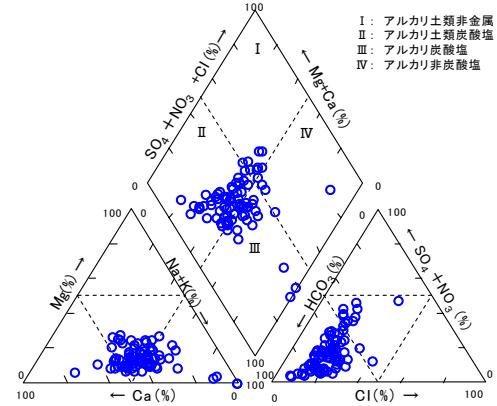


図-4 白神山地の自然水のトリリニアダイヤグラム

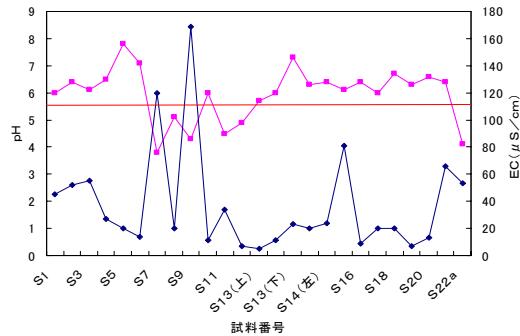


図-5 土のpH及びECの状況

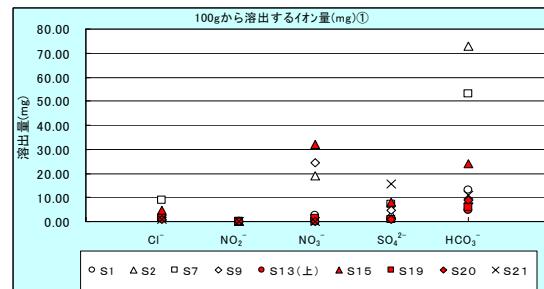


図-6 土試料 100g に溶出する陰イオン

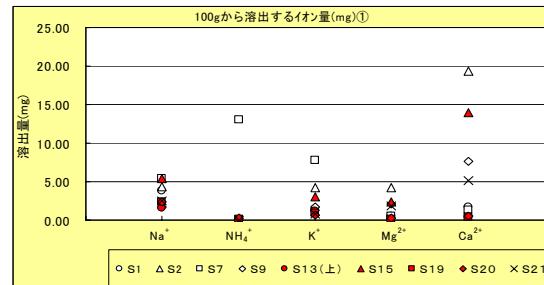


図-7 土試料 100g に溶出する陽イオン

# 世界自然遺産「白神山地」－水・土環境の実態評価－

防衛大学校 学生会員 ○徳田 淳  
防衛大学校 正会員 山口 晴幸  
防衛大学校 学生会員 熊田 未咲

## 1. はじめに

1993年12月コロンビアのカルタヘナで開催された世界遺産委員会において、ユネスコにより日本初の世界自然遺産に鹿児島県屋久島と秋田青森県境の白神山地が登録された。世界遺産は「国境を越えて世界的に価値を持ち、人類共通の財産といえる貴重な自然や文化財を守ること」を目的としており、これによって屋久島と白神山地は国際的に保護・保全されることになった。本研究で調査の対象とした白神山地は北緯40度に位置し、約13万ヘクタールに及ぶ広大な山岳地帯の総称であり、このうちの中心部約1万7千ヘクタールが世界自然遺産地域に指定されている。白神山地には人為的影響をほとんど受けていない世界でも類を見ない大規模なブナの原生林が分布しており、ニホンカモシカやクマゲラなどの天然記念物をはじめ、多くの動植物が生存生殖する学術的にみても貴重な地域である。本研究では、白神山地周辺より採取した自然水・降水・土の化学分析を実施して、ブナの原生林を育んでいる白神山地の自然環境について科学的に考察している。

## 2. 調査と測定

秋田県北西部から青森県南西部にまたがる白神山地の世界遺産登録地域のコアエリア（厳格に保護され入山規制された地域）及びバッファーゾーン（研究や教育の目的で使用を許可された地域）一帯を取り囲むように2000年8月、2001年3月に調査を実施している。調査については、自然水83サンプル（河川水・湧水・瀑布水・溪流水等）、降水42サンプル（降雨・積雪）、土試料26サンプル（表層土）をそれぞれ採取している。試料の採取地点を図-1に示している。採取した試料については、自然水のpH（水素イオン濃度）、EC（電気伝導度）を現地で測定し、研究室においてイオンクロマトグラフィーによる溶存イオン成分測定、蛍光X線回析装置による土の酸化物組成測定等を実施している。

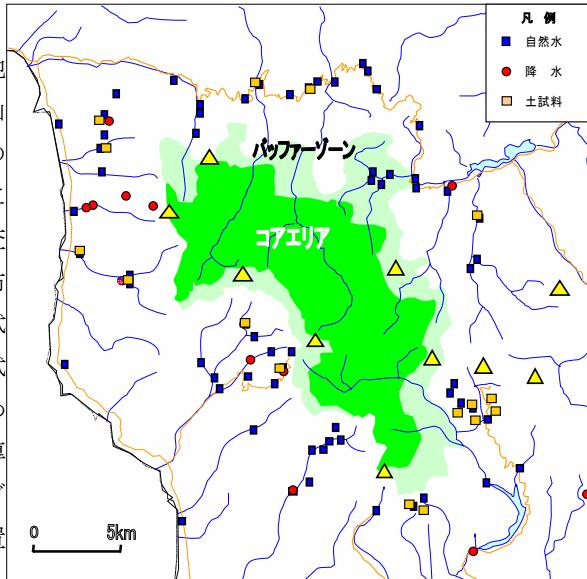


図-1 白神山地における試料採取地点

## 3. 結果と考察

### 3. 1 白神山地の降水

図-2は、白神山地における降水のpHとECを示している。pHは、一般に5.6以下が酸性雨と定義され樹木の立ち枯れなどの自然環境に影響を与える。白神山地の降水は、4.5～7.4範囲（平均値5.8）であり、42サンプル中12サンプルが5.6以下の値を示している。日本の全国の平均からみるとこの値は高いと言える。ECは、13～193μs/cm（平均値59.7μs/cm）範囲であった。ECの値は溶存イオン量の目安となる。

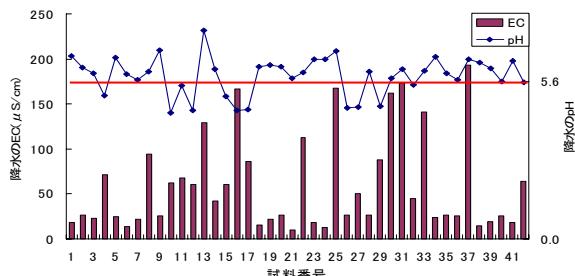


図-2 降水のpH、EC

キーワード 白神山地、水環境、土環境、イオンクロマト、ヘキサダイヤグラム、トリリニアダイヤグラム

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20 防衛大学校建設環境 TEL 046-841-3810 E-mail [g42055@nda.ac.jp](mailto:g42055@nda.ac.jp)

### 3. 2 白神山地の自然水

図-3は、白神山地における自然水の水質をヘキサダイヤグラムで表示している。ヘキサダイヤグラムについては、83箇所の採取地点のうち、代表的な12の地点について表示している。グラフの形状・大きさが類似していることから、白神山地を流下する自然水は、ほとんど同じ溶存イオン組成をなしていることがわかる。図-4は、自然水のトリリニアダイヤグラムを表示している。これによると、白神山地の自然水はアルカリ土類非炭酸塩（I型）、アルカリ炭酸塩（III型）、アルカリ非炭酸塩（IV型）の水質タイプを呈するもののが多少あるが、大半はCa-HCO型のアルカリ土類炭酸塩タイプ（II型）に分類されることがわかる。

### 3. 3 白神山地の土

白神山地は広葉樹（ブナ）の森が広がっている。一年を通して多くの葉が落ち、そして土にかかる。豊穣の森と呼ばれる由縁である。土は自然水の水質を左右する上で重要な役割を果たしている。図-5は、土1gからの溶出するイオン量を示している。陽イオンでは、 $\text{Ca}^{2+}$ が比較的多く溶出しており陰イオンでは、 $\text{HCO}_3^-$ が多く溶出している。このことからも、自然水の溶存イオン成分は土の溶出性と密接に関連していることがわかる。

### 4. まとめ

白神山地の自然環境を降水・自然水・土を対象として科学的に分析することにより、貴重なブナの原生林を育んでいる水・土環境の実態評価を行った。白神山地は、世界自然遺産に登録されて以来人気の高い観光地として多くの人々が訪れるようになった。これからも多くの観光客が訪れる予想される。近年、山岳域の水環境の悪化が問題になってきているが白神山地においても無視出来ない問題である。今後とも継続的にモニタリングを実施して、環境保護・保全に少しでも役立てたいと考えている。

#### 【参考文献】

- 1) 名水を科学する、日本地下水学会編、抜報堂出版 1994. 10
- 2) 世界遺産白神山地からの発信、野添憲治・北川智彦編、同友館、1995

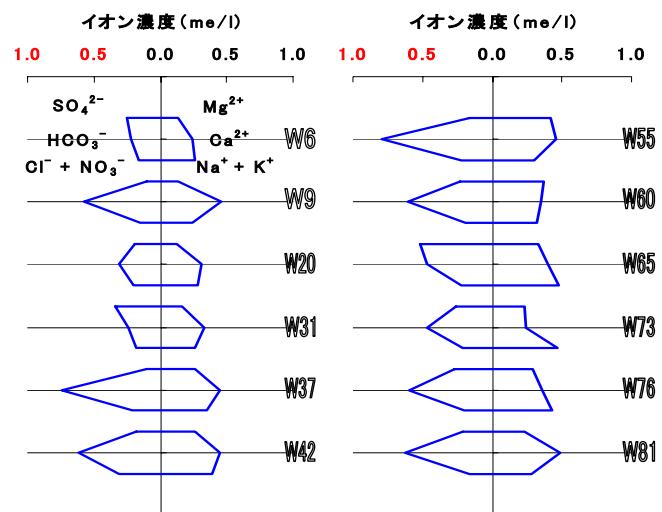


図-3 自然水のヘキサダイヤグラム

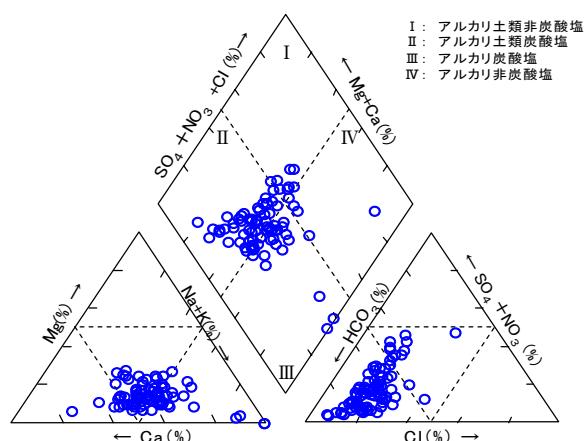


図-4 白神山地の自然水のトリリニアダイヤグラム

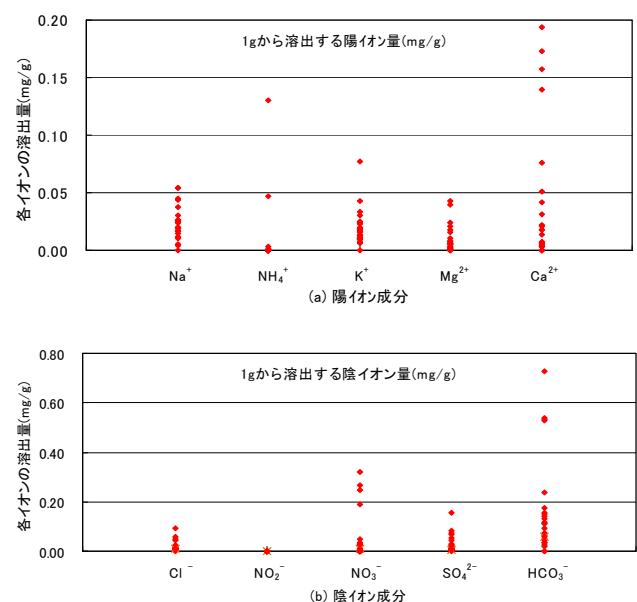


図-5 土1gからの溶出イオン量

