

17. 世界自然遺産『白神山地』・『屋久島』の水・土環境

Water and soil environments in World Natural Heritage Sites, Shiragami mountainous region and Yakushima Island

山口 晴幸*・徳田 淳*

Hareyuki YAMAGUCHI*, Jun TOKUDA*

ABSTRACT ; This study has focused on investigating environmental problems, attributed from contaminations of natural water and soil in Shiragami mountainous region and Yakushima Island. Since the number of tourists, who enter the mountain, has increased, influences on the natural environments in both areas, resulted from human activities such as utilizations of toilets, lodges and camp sites, has become remarkable. Therefore, it is important to characterize the circumstances of both areas from the chemistry point of view. Concentration of nitrogen contained in nitric acid and ammonia in both soil and natural water has been analyzed. Using the results obtained from the chemical analyses, the environmental problems caused by man activities are discussed in this study.

KEYWORDS ; World natural heritages, Shiragami mountainous region, Yakushima Island, Nitrogen compounds, Environmental problems

1 はじめに

著者らの調査研究活動では「自然は地球の宝・財産であり、食い潰したり消滅させたりしてはならない」との観点から、「自然の魅力」や「貴重性」を科学的に探究し、その成果を表現・公表することで「自然環境を保護保全していくことが重要である」と考える意識の高揚に繋げていくことを主眼としている。本研究では、魅力溢れる自然環境を形成している「白神山地」と「屋久島」を対象に、両遺産地域の自然環境を支配している主要な環境因子である降水、自然水(河川水、溪流水、瀑布水、湧水など)、土に着目し、各環境因子の基本的な化学物性から元素レベルに至る化学組成の特徴を究明すると共に、環境因子相互の因果関係について横断的な論述を加えることで、両遺産地域独特の自然環境創世術の一端を解明することに力点を置いている。近年、世界遺産登録を契機に両地域で入山者が急増し、トイレ、避難小屋(トイレ付)、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。特に「山の水場」汚染問題が懸案事項となっていることから、両地域一円での自然水と土に関する硝酸性窒素とアンモニア性窒素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。殊に屋久島については、1994年に実施した調査での両窒素態に関する分析データ¹⁾との比較検証から、ほぼ10年経過後の入山の負荷による経年的蓄積効果についても考察を試みている。

2 顕在化する山岳域の汚染問題

我が国には、百名山をはじめ素晴らしい山々が連座している。山は多くの人達に感動を与え、自然の奥深

*防衛大学校建設環境工学科 Dept. of Environmental and Civil Engineering National Defense Academy, 1-10-20 Hashirimizu Yokosuka Kanagawa Japan 239-8686.

さや尊さなどを教えてくれる。国内では年間 880 万人(2002 年調べ)が登山を楽しんでいるとされている。近年の登山ブームによって、「日本百名山」などで知られる山々には登山客が集中し、登山道が貴重な高山植物の自生する地域まで拡張されるなどの、新たな自然破壊問題に至るケースなどが報告されている。特に現在、山岳域で顕在化しつつある重要な汚染問題は、無秩序な排泄やゴミの不法投棄などの行為による沢水などの水汲み場の水質汚染問題である。即ち、山岳域のトイレの不整備、山小屋などからのし尿の垂れ流し、長年にわたる登山者によって投棄されてきた山岳域(特に登山道沿い、山小屋周辺、キャンプ場、山頂周辺)にみる「ゴミの山」などによって、山腹の水汲み場や山麓周辺の湧水地などでは、アンモニア性窒素、硝酸性窒素、大腸菌などの汚染物質が検出され、飲料として安全性が心配される不適切な自然水の拡大しつつあることが指摘されている。

山岳の環境保全に取り組んでいる「山のトイレさわやか運動本部」(代表田部井淳子)が 2000 年に初めて山岳域の「山の水場」の水質調査を実施している。北海道の羅臼岳から鹿児島県屋久島の宮之浦岳まで 93 山 160 箇所を対象に、登山者の水飲み場となっている箇所ごとに、入山者数のピーク前(6 月)、ピーク時(7 と 8 月)、ピーク後(10 月)の三回にわたって行っている。現地でのパックテストによる簡易分析が主体であるが、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、大腸菌など 11 項目について調べている²⁾。その結果、アンモニア性窒素は 50 箇所、亜硝酸性窒素が 31 箇所、硝酸性窒素が 39 箇所で見出されている。また大腸菌も 70 箇所で見出されている。亜硝酸・硝酸性窒素の合濃度が水道水の水質基準で規定されている 10mg/l を上回る調査箇所は今回検出されていなかったが、「検出されないこと」と規定されている大腸菌が全体の 43% の箇所で見出されたことから、大腸菌が見出された箇所の水は安全性を第一に考えれば、「飲料不適」とみなした方がよいと指摘されている。「山の水場」調査は毎年継続されており、2003 年には全国 234 箇所で見出された水場の水質に加え、付近のトイレ位置などの周辺環境についても調査が実施されている。その結果によると、93 箇所(約 40%)で大腸菌が見出され、大腸菌が多く見出されたワースト 16 箇所のうち、11 箇所、付近にトイレがあり、汚物による水質汚染を受けた可能性の高いことが報告されている^{3・4)}。このような調査結果から、「山の水場」は都市部に近い方が検出される汚染物質の数値が高くなる傾向にあり汚染が進行しており、し尿による影響が大きいとみなされている。

人為的要因による「山の水場」の水質汚染に対する防止対策としては、トイレの整備・完備が最も効果的とされている。しかしトイレが整備されている場合でも、山岳域の現状では、地中に汚物を埋める「地下浸透型トイレ」がほとんどなため、トイレ付近の水場の水質汚染を防止する役割を果たしておらず、逆に汚染要因となっているケースの多いことが指摘されている。そのため改善策として、山岳域のトイレは「地中浸透型トイレ」を廃止し、浄化槽で汚水を浄化する「生物・化学循環方式トイレ」、汚物を微生物分解する「コンポスト方式トイレ」、携帯トイレのように汚物を自前で処理する「自己処理型トイレ」などのトイレの設置が検討されつつある。

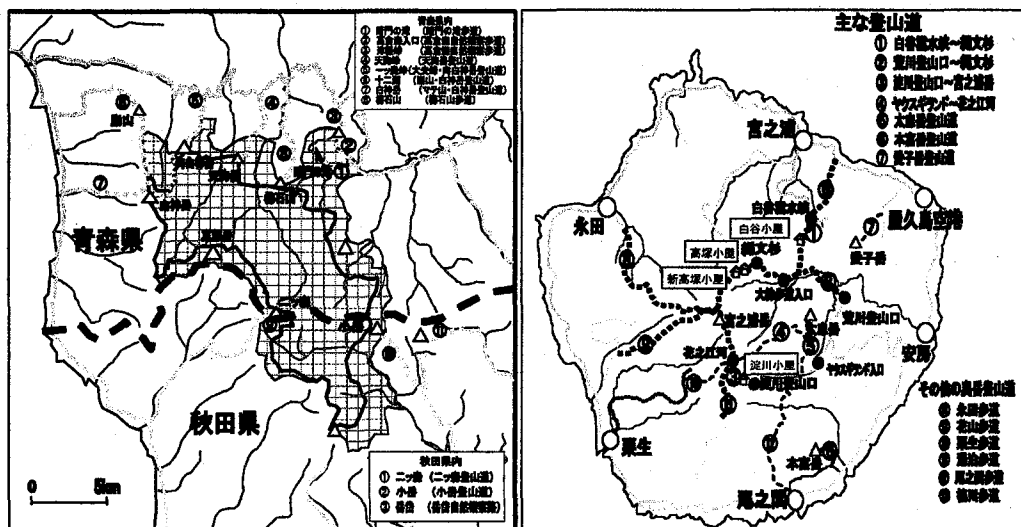
3 両自然遺産地域への年間入山者数とトイレ施設等の実態

白神山地と屋久島は、1993 年 12 月に世界自然遺産に登録されて以来、毎年多くの観光客が訪れるようになった。遺産登録からほぼ 10 年経過する。両遺産地域への登山者や観光客の入山は基本的には自由であるが、自由意志での入山が可能な屋久島に対して、白神山地では申請による審査許可制による入山方式をとってきた。図 1 は白神山地と屋久島の主な登山道を、また図 2 には白神山地と屋久島の近年の入山者数をそれぞれ示している^{5~7)}。

(1) 白神山地の実態

白神山地では 27 区間の指定ルートを利用した登山によって、自然遺産地域への入山が許可されている。図 1(a)には比較的多くの登山者が入山する 11 ルートを示しており、遺産地域内へ向かう登山道の入口 11 カ所に、入山者数を記録するカウンターが設置されている。青森県側には暗門の滝、津軽峠、天狗峠、一ッ森、十二湖、白神岳、櫛石山、高倉森入口の 8 カ所、秋田県側にはニッ森、小岳、岳岱の 3 カ所に設置されてい

る。入山者がカウンターの横を通過すると赤外線センサーが反応し、入山者数をカウントする仕組みになっている。1999年度に試験的に設置され、2000年度から本格的に調査を開始している。青森県側での暗門の滝の登山道は、バスで近くま

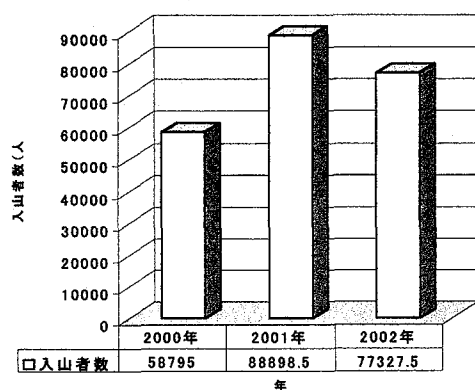


(a)白神山地

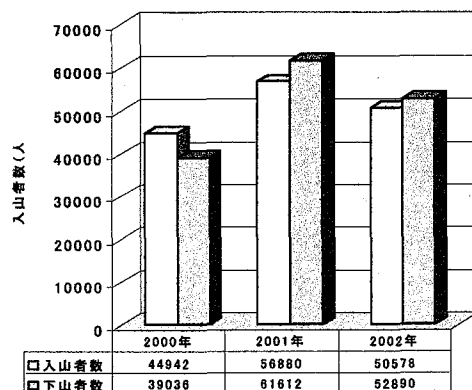
(b)屋久島

図1 両遺産地域の主な登山道

で行くことが可能で容易に世界遺産地域に踏み入ることができるため人気が高く、2002年8月には入山者数は20,120人を数え、年間入山者数(77,328人)の26%を記録している。図2(a)で約3年間の入山者数の推移をみると、2000年には約59,000人であるが、2001年には約89,000人、2002年には約77,000人と約1.5倍と1.3倍に増加しており、今後も増加することが予想される。



(a)白神山地



(b)屋久島

図2 両遺産地域への入山者数の状況(2000～2002年)

白神山地では代表的な山施設として、鯨ヶ沢町の赤石溪流沿いに休憩避難小屋「白神さん家」、深浦町の白神ライン追良瀬川大橋付近に「白神山地公衆トイレ」、岩崎村の白神岳山頂に避難小屋とトイレなどがある。「白神さん家」は遺産地域の多少外側にあるが、他の2箇所は遺産地域内に設置されている。2箇所の避難小屋にはトイレが設置されており、これらを含め遺産地域周辺一帯にはトイレは全部で7箇所に設置されている(図5参照)。白神岳山頂避難小屋のトイレは「汲み取り方式」であるが、他の6箇所のトイレは最新式の「微生物分解型トイレ」である。白神山地のトイレはいずれも排泄物を垂れ流す「地中浸透型トイレ」ではなく、周辺環境へ与える影響に配慮したトイレが設置されている。さらに入山者に対しては、許可時に入山マナーとして、(i)ゴミは捨てないこと(ゴミは出さない、持ち帰る)。(ii)自炊後の食器類は洗剤を使わず、トイレトーパーで拭き、紙は回収すること。(iii)トイレ紙などは持ち帰ること。などを徹底指導して、自然環境の保全に協力してもらうことにしている。しかし増加する登山者や観光客による自然環境に与える入山的負荷やその経年的蓄積効果が懸念されている。ちなみに2003年7月の「山の水場」調査による結果では⁴⁾、実施した4箇所でのアンモニア性窒素、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素、COD、大腸菌群数はいずれもゼロと報告されている。

(2) 屋久島の実態

鹿児島県の屋久島では、1993年12月の世界自然遺産登録効果や縄文杉ブームによって、年間入島者数は、1993年の約20万人から2002年には約30万人と1.5倍に急増している。入島者のうち、登山や屋久杉見学などで山岳奥に入山する数は、1993年には1万人程度であったが、図2(b)に示すように、2000年には約45,000人、2001年には約57,000人、2002年には約51,000人と、5万人前後と約5倍に増加している⁶⁾。図1(b)に示すように、入山者は、(i) 縄文杉へのコースである荒川登山口(荒川登山口～縄文杉ルート:②)、(ii) 白谷雲水峡の入口(白谷雲水峡～縄文杉ルート:①)、(iii) 宮之浦岳へのコースである淀川登山口(淀川登山口～宮之浦岳ルート:③、ヤクスギランド～淀川登山口～花之江河コース:④)に集中している。特に縄文杉に向かう「荒川登山口～縄文杉ルート(②ルート)」では、年間約4万人に達し、2002年のゴールデンウィークでの縄文杉周辺のカウンターでは、一日平均331人を記録している⁷⁾。また淀川登山口から花之江河、黒味岳、宮之浦岳方面への登山ルート(③と④)も人気が高く、入山者数は年間約1万5千人に達している。これに対して太忠

岳登山道(⑤)、永田歩道(⑧)、栗生歩道(⑩)、楠川歩道(⑬)などの奥岳登山ルートは比較的少なく、年間10～300人程度とされている。

屋久島には標高1,000m以上の高所に淀川小屋、新高塚小屋、

高塚小屋、白谷小屋などの避難小屋が設置されている(図1(b))。

山岳域のトイレは6箇所の避難小屋等(淀川、新高塚、高塚、白谷、鹿之沢、石塚)に加え、大株歩道入口とヤクスギランド、白谷、荒川、淀川の登山道入口5箇所に設置されている。遺産地域に11箇所設置されることになるが、そのうち10箇所は、「汲み取り方式トイレ」もあるが整備が不十分で、実質的にはすべて垂れ流しの現状となっている。現在、2003年に設置された大株歩道入口のトイレだけが、周辺環境に配慮した「微生物分解型トイレ」である。大株歩道は縄文杉への最も人気の高い登山ルートであることから、2000年に初めてトイレが設置されたが、当初は、「汲み取り仮設トイレ」であった。年間入山者数が4万人に達し、ゴールデンウィークや連休などには、特に入山者が集中する荒川登山口～大株歩道～縄文杉ルートには、大株歩道入口に1箇所、2003年に「最新式トイレ」が新設されているが、そのコースには、他に出発地点の荒川登山口と遠く離れた白谷小屋の2箇所に設置されている程度である。片道5～6時間要する縄文杉への登山コースとしては、トイレの不設備が生態系や水質などの自然環境に深刻な影響を与えることが懸念されている。このように屋久島では、増加する入山者への対応として、山岳域でのトイレの処理方式も含めたトイレの改善と整備が貴重な自然環境を保全する上からも、重要な懸案事項となっている。ちなみに5箇所で実施された2003年7月の「山の水場」調査結果によれば、大株歩道入口の水場で大腸菌が検出されている³⁾。他の4箇所の水場では各種の汚染物質の測定値はいずれもゼロとなっている。

4 調査と分析

白神山地では、2000年8月と2001年3月に加え、2004年4、6、7月に3度の現地調査を実施し、降水73サンプル、自然水159サンプル、土64サンプルの採水・採取を試みている(図3)。各サンプルの採水・採取

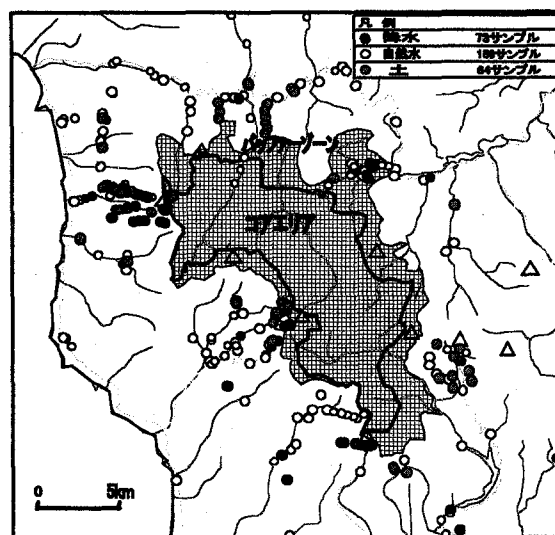


図3 白神山地一帯での水・土のサンプリング地点

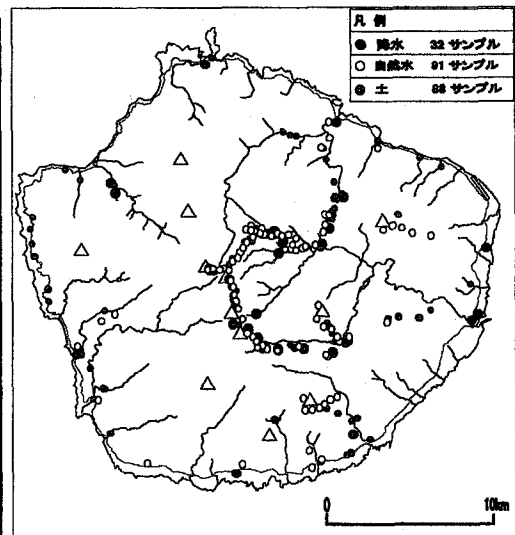


図4 屋久島での水・土サンプリング地点

地点は、遺産登録地域を取り囲むように分布している。核心地域(コアエリア)でのサンプルが欠落しているのは、密林のように森林が深くしかもルートがなく

表 1 水・土サンプルについて実施した分析項目と分析方法

サンプル	分析項目	分析方法
水サンプル	水素イオン濃度 (pH)	ガラス電極メーターによる測定
	電気伝導率 (EC)	電気伝導率計による測定
	主要陽・陰イオン量	イオンクロマトグラフィーによる測定
土サンプル	土の水素イオン濃度 (pH)	土懸濁液を用いたガラス電極メーターによる測定
	土の電気伝導率 (EC)	土懸濁液を用いた電気伝導率計による測定
	土から溶出する主要陽・陰イオン量	土からの溶出水を用いたイオンクロマトグラフィーによる測定
	土から溶出する微量成分元素量	土からの溶出水を用いた高周波発光分析装置による測定
	土の含有元素・酸化物組成	蛍光 X 線回折装置による測定

危険で踏み入ることが難しかったためである。降水のサンプルは調査中に直接採水した雨水もあるが、春季の調査であったことからほとんどは人為的攪乱の影響を受けていないと思われる山岳域で採取した積雪である。自然水の水形態は、河川水・渓流水が 133 サンプル、瀑布水が 13 サンプル、湧水が 11 サンプル、湖水と地下水がそれぞれ 1 サンプルである。土サンプルでは分解途上の腐植有機物等から溶解する化学成分の土中や地表水への供給についても考察することを目的としているので、総じて地表面下 10~20cm 程度の表層土を対象としている。表層土なので土サンプルの判別は正確には難しいが、主にロームの粘性土、黒ぼく状の有機質土、火山灰性土、細粒砂の河岸土などである。なお 2004 年 4~7 月に採取した 39 個の土サンプルは、落葉・枯葉等の腐植有機物を多量に含有している有機質土が主体である。

屋久島では、2003 年 7 月と 2004 年 8 月に 2 度の現地調査を実施し、降水 32 サンプル、自然水 91 サンプル、土 88 サンプルの採水・採取を試みている(図 4)。降水は調査時に直接採水した雨水である。自然水は河川水、瀑布水、渓流水、湧水からなる。土はやはり表層土を対象としてサンプリングしている。中央部山岳域は大半が花崗岩地帯なので花崗岩の岩片をはじめ、それが風化したまさ土的な細粒土、海岸部周辺に露頭する風化頁岩の泥土、近隣島での火山噴火で降下したとされる火山性噴出堆積土などである。

先述したように、両遺産地域では入山者の急増により、深刻化する水場の汚染問題が重要な懸案事項となっていることから、水・土のサンプリングに際しては、「山の水場」汚染問題を検討することにも配慮し、トイレや避難小屋の設置場所にも留意して行っている。特に、屋久島では人気の高い荒川登山口~大株歩道~縄文杉ルート、白谷雲水峡~縄文杉ルート、淀川登山道~宮之浦岳ルートでは入念なサンプリングに努めている。なお屋久島では 10 年程前の 1994 年 4 月と 7 月に、今回と同様の趣旨での現地調査を既に実施し一連の分析データを保有している。両分析データとの比較検証から、ほぼ 10 年経過後の水・土環境の経年変化の状況を把握し評価することを試みている。

両遺産地域で採水・採取した一連の水と土サンプルについて、主に化学成分組成を評価するなめに、各種の分析を実施している(表 1)。水サンプル(降水と自然水)のうち、自然水の水素イオン濃度 (pH) と電気伝導率 (EC) については、現地で直接測定を試みている。また土サンプルでの水素イオン濃度 (pH)、電気伝導率 (EC)、水溶性成分、強熱減量等の化学的物性を評価するための一連の分析は、地盤工学会基準 (JGS) の化学試験法⁹⁾に基づいて実施している。

なおここでは紙面の関係上、両遺産地域における自然水と土サンプルの分析結果を通して、硝酸・アンモニア性窒素の実態を評価し、自然環境に与える入山者等に起因すると思われる人為的影響負荷について言及している。

5 白神山地での硝酸性・アンモニア性窒素の評価

遺産地域を取り囲むように、総計 159 地点の自然水を分析し、硝酸性窒素(NO_3^--N)とアンモニア性窒素(NH_4^+-N)の両窒素態の検出結果を濃度区分して、それぞれ図 5 と図 6 に表示している。両図中には設置されているトイレとトイレ付き避難小屋 7 箇所の位置も併記している。まず NO_3^--N に注目すると、159 地点の自然水のうち 42 地点(約 26%)の自然水で NO_3^--N が検出された。検出濃度は 0.5mg/l 未満が大半であったが、2 地点で 0.6~0.7mg/l、1.41mg/l と 2.58mg/l を検出した地点がそれぞれ 1 地点あった。検出地点の大半は遺産地域の東側よりはむしろ、標高 300m より低い平野部に掛けて西方海岸側に集中していて、遺産地域からか

なりかけ離れている地点が多かった。2.58mg/lの最も高い濃度が検出された地点も遺産地域から離れた南東部の名勝地「権現の大銀杏」脇の渓流水であった。これらの地域で検出された NO_3^- -Nが、もしも人為的要因とすれば、入山者による負荷的要因よりもむしろ農耕地や人家等からの要因の可能性が高いと判断される。しかし白神岳山道マテ山コース最後の水場湧水(標高590m)では1.41mg/lの濃度が検出された。遺産地域付近の山岳域にあり入山者数も比較的多く、入山による人為的要因の影響も考えられることから、 NH_4^+ -Nの検出状況や後述する土壌から供給される結果も考慮してその要因について判断することにする。ちなみに一連の地点での自然水で検出された濃度は水質汚染の観点からは、まったく問題とならない低い数値ではある。そこで図6に示す自然水の NH_4^+ -Nの検出状況をみると、159サンプル中8サンプル(約5%)で、 NO_3^- -N(約26%)の検出率の1/5程度であった。 NH_4^+ -N濃度が0.3mg/l未満の自然水が4サンプル、0.5mg/lを超える自然水が4サンプルで、最大の検出濃度は1.29mg/lであった。そこで両窒素態の分析結果から、次のようなことが窺われる。

①山岳域での人為的要因に起因する NH_4^+ -Nの供給は排泄物の不適切な処理によるところが大きいと考えられることから、まず白神山地一帯に設置されている7箇所のトイレ位置との関連でみると、 NH_4^+ -Nの検出地

点はトイレ位置とほとんど無関係であることがわかる。即ち白神山地では人為的要因による排泄物が周辺環境に影響を与えていることは考え難い。

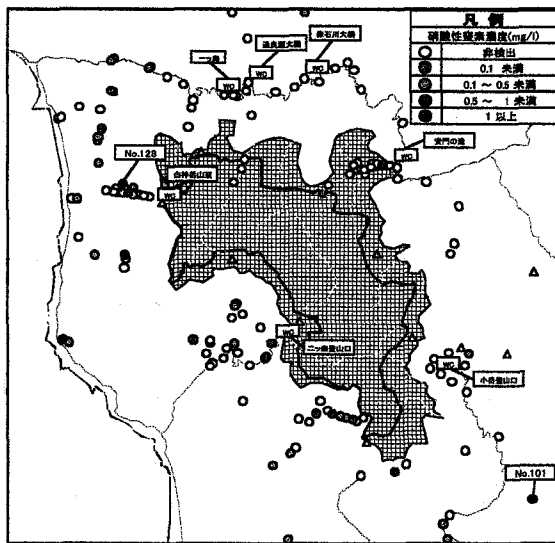


図5 白神山地における自然水の NO_3^- -N濃度検出地点

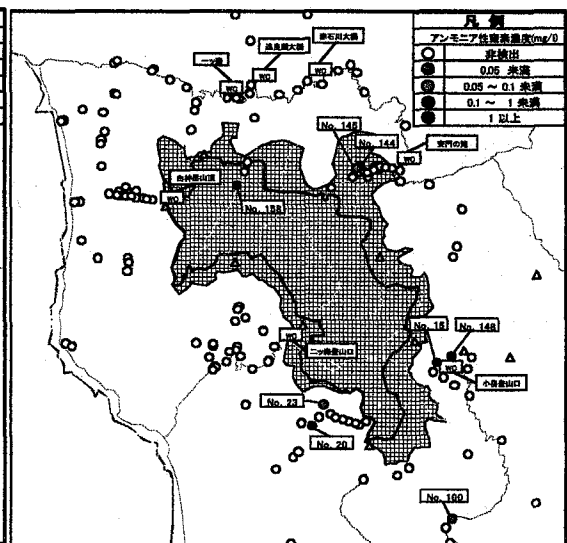


図6 白神山地における自然水の NH_4^+ -N濃度検出地点

ただし2箇

所の検出地点はトイレの位置と接近しているようだが、両検出地点の自然水はトイレの上流部に位置していることから、トイレからの排泄物の要因とは判断し難い。このことは、白神山地一帯に設置されている7箇所のトイレが、白神岳山頂の汲み取り型トイレを除いてすべて浄化方式の最新型トイレで、垂れ流し式の地下浸透型トイレとは異なり、排泄物が周辺環境に与える影響のないことによっていると思われる。

②検出地点の NH_4^+ -Nが、もしも排泄物に起因する人為的要因によるものであれば、当然、図5に示した NH_4^+ -Nの酸化態であるの NO_3^- -N検出地点や濃度とも概ね対応していることが想定される。しかし両図を比較しても、両窒素態の検出地点や濃度状況には対応性はまったく認められない。このことからしても、 NH_4^+ -N同様、特に山岳域での NO_3^- -Nもまた、トイレに関連する排泄物による人為的要因の可能性はないと判断できる。

次にその供給要因を究明するために、両窒素態の土壌からの溶出性について考察する。特にここでは、土壌から溶出する NO_3^- と NH_4^+ が自然水の両窒素態の供給源になり得ているのか、その可能性について着目している。対象土は登山道や河岸沿いなどで採取した表層部に堆積分布している表土で、大別すると土粒子鉱物を主体とした無機質土と腐植物を多量に含む有機質土からなっている。

64個の土サンプルに関する NO_3^- -Nと NH_4^+ -Nの溶出状況では、 NO_3^- -Nは64サンプル中46サンプル(72%)、 NH_4^+ -Nは43サンプル(67%)で検出された(図7と図8)。土の乾燥質量1g当りからの溶出量(mg)としては、両窒素態で0.06mg/g範囲内のサンプルが大半を占め、両者の最大値は約0.16mg/gであった。このように大

半の土サンプルから両窒素態が溶出することから、土壌から溶解した窒素態が河川、渓流水、瀑布、湧水などの地表水に溶存することは科学的にも十分予想できることである。興味深いことは、特に $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の溶出は、落葉・枯葉などの分解途上の腐植物を含んだ有機質土のサンプルがほとんどであった。この主な理由としては、落葉・枯葉等の有機物の腐植・分解過程での生成や腐植・分解に携わる土中微生物の活動(排泄物や遺骸の分解など)による生成などによっていると思われる。

なお有機物量の指標である強熱減量(L_i)との関係で両窒素態の濃度をプロットすると、ばらつきは認められるが、相関性は $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の場合に比較的良好であった(図省略)。このような結果を加味すると、両窒素態の

自然水への供給には、地中表層部で分解される腐植有機物の存在が重要な要因となっていることが理解できる。 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ と L_i との間の相関性はそれほど良好とは言えな

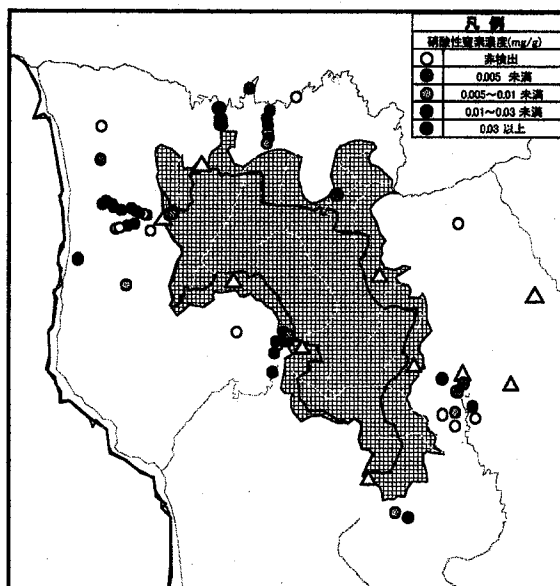


図7 白神山地における土溶出水の $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度検出地点

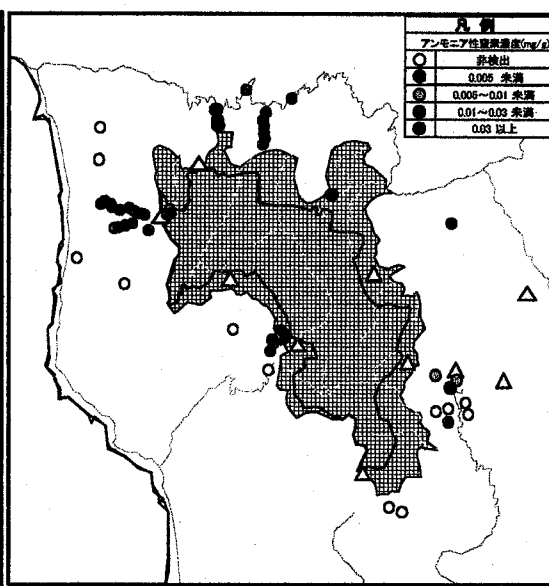


図8 白神山地における土溶出水の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度検出地点

ったが、生成されるアンモニア態が土中で酸化作用を受けることでいずれは硝酸態に変態することを考えれば、やはり腐植有機物の存在が $\text{NO}_3^-\text{-N}$ の主要な供給源になっていると思われる。

このようなことを考慮して、図7と図8での土からの溶出量マップを先に示した自然水に関する図5と図6と対比させてみると、特に遺産登録周辺部の山岳域では、自然水への両窒素態の供給源は人為的要因によるよりもむしろ、表層部に堆積している腐植有機物を含む土壌に起因していると推察できる。

6 屋久島での硝酸性・アンモニア性窒素の評価

まず自然水の $\text{NO}_3^-\text{-N}$ と $\text{NH}_4^+\text{-N}$ を標高との関係で表示したのが図9と図10である。 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ の関係図に着目する。1994年の結果では68サンプル中27サンプル(約40%)の地点で検出された。検出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った。検出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、No.58(山河湧水)地点で4.62mg/lと突出した値が検出されたが、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年では91サンプル中52サン

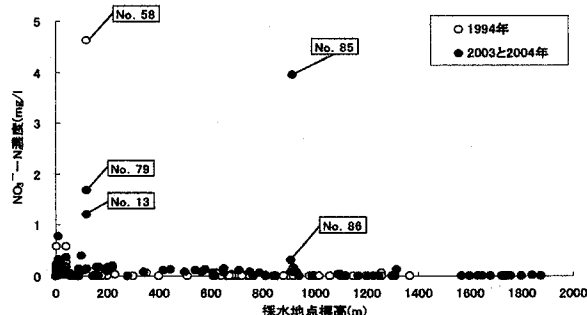


図9 自然水の $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度と標高との関係

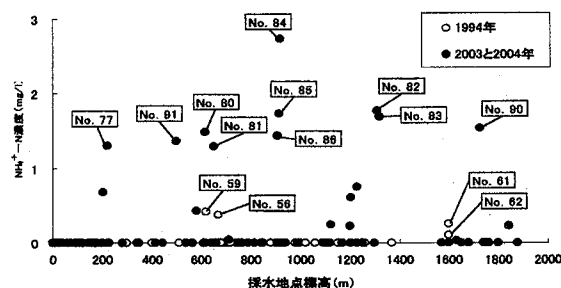


図10 自然水の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度と標高との関係

プル(約 57%)の地点で検出され、検出率の増加が窺われた。濃度的にはそれほど変化はなく、概ね 0.8mg/l 未満であった。1994 年に 4.62mg/l を検出した山河湧水(No.58)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避難小屋周辺の 2 箇所の自然水からは、やはり NO_3^- -N は検出された。No. 85 の新高塚小屋トイレ下 5m 付近の自然水では 4.95mg/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 0.3mg/l の濃度を示した。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。

同様に図 10 で自然水中の NH_4^+ -N の検出状況を見ると、1994 年の調査では 68 サンプル中 4 サンプル(約 6%)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た。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 0.5mg/l 未満とかなり低い値で、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、 NH_4^+ -N 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思われる。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、検出濃度は 1mg/l を超える場合が大半で、最高値は 2.73mg/l (No.84)と、1994 年の検出濃度より遥に高い値を示した。検出濃度が 1mg/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 9 での NO_3^- -N の検出状況と併せて判断すると、これらの自然水への NH_4^+ -N の供給要因には入山者の活動行為に伴う人為的要因が関与している可能性が高い。即ち屋久島において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。

そこでほぼ 10 年経過での入山行為の蓄積に伴う環境負荷への懸念をみるために、自然水の NO_3^- -N と NH_4^+ -N の検出状況を 5 段階に濃度区分して、マップ表示したのが図 11 と図 12 である。両調査年時でかならずしも自然水の採水地点は一致していないが、図 11 での NO_3^- -

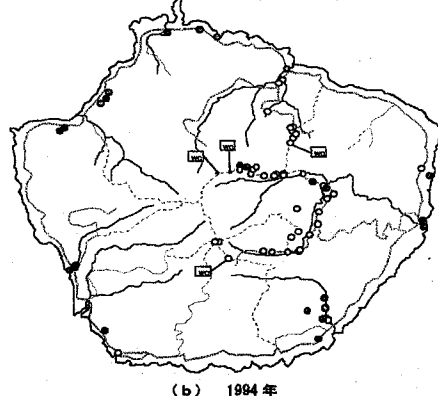
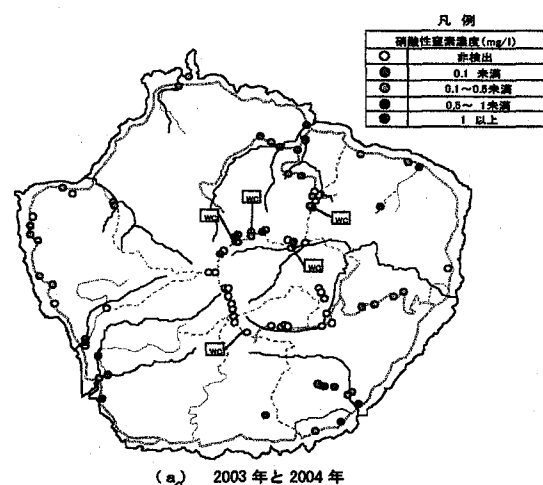


図 11 自然水の硝酸性窒素検出地点

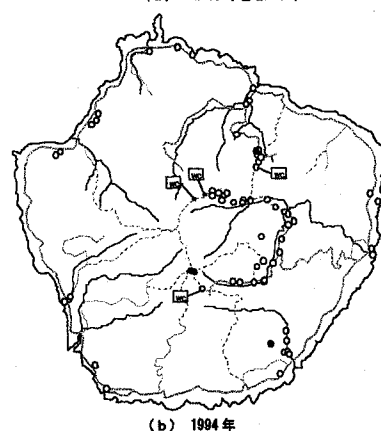
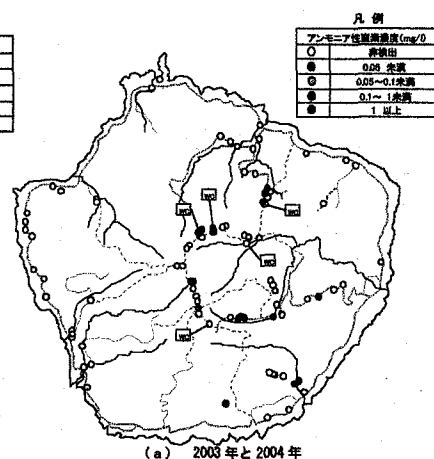


図 12 自然水のアンモニア性窒素検出地点

-N の状況をみると、1994 年では検出地点の大半は島周辺部の海岸沿いで、島中央部高峰域や北部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 0.1mg/l 未満の濃度であった。しかし 2003 年と 2004 年では、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わかる。特に中央部高峰域での検出濃度が 0.5mg/l を超える高い濃度の自然水は、上述した避難小屋周辺での自然水が大半である。

ほぼ 10 年経た年次の違いが図 12 に示す $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 場合にはより明瞭に表れている。特に島中央部高峰域では、1994 年では自然水からはほとんど $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 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 1mg/l 以上の検出濃度の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 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ が検出された 2 箇所は泥炭湿原「花之江河」での自然水(図 10 での No.61 と No.62)である。

一般に $\text{NO}_3^-\text{-N}$ や $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 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 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ で 0.2～1.0mg/l 程度、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ で 0.05mg/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 11 と図 12 で示した島中央高峰域と山岳奥へ向かう登山道沿いでの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、自然水の水質の推移はやはりほぼ 10 年に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。

さらに白神山地の場合と同様に、土壌的視点から両窒素態の供給要因について考察を深める。2003 年と 2004 年の採取土 88 サンプルに関する $\text{NO}_3^-\text{-N}$ と $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の溶出状況を濃度区分して表示した地形マップ(図 13 と図 14)では、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ は 88 サンプル中 78 サンプル(約 89%)、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 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、土壌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土壌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 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ の溶出量は 0.02mg/g 未満であったが、高い溶出量を示した土サンプルは辻峠(No. 30)、愛子岳(No. 55 と 56)、高塚小屋(No. 76 と 77)、新高塚小屋トイレ付近(No. 81 と 82)などで、0.1mg/g を超える土サンプルもあった。また $\text{NH}_4^+\text{-N}$ は約 80%の土サンプルで 0.001mg/g 未満の溶出量であったが、愛子岳(No. 54)、高塚小屋(No. 78)、新高塚小屋トイレ付近(No. 82 と No. 83)、白谷小屋(No. 84 と No. 85)、淀川小屋トイレ付近(No. 86 と No. 87)、蛇ノ口の滝登山道(No. 88)などの土サンプルでは 5 倍以上の 0.005mg/g を超える値が検出された。

特に両窒素態の高い溶出量が検出された採取地点近傍の状況を概説すると、辻峠(No.30)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。愛子岳(No. 54・55・56)と蛇ノ口の滝登山道(No. 88)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

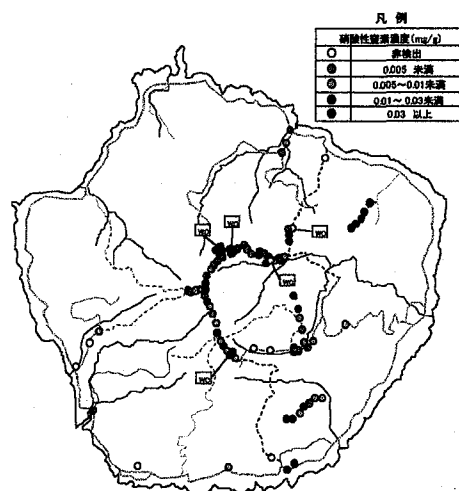


図 13 土壌水の硝酸性窒素検出地点

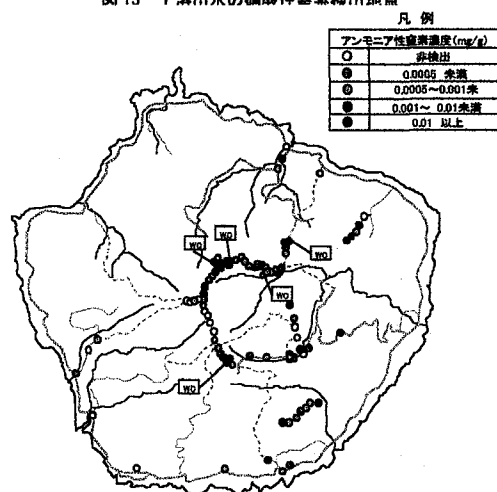


図 14 土壌水のアンモニア性窒素検出地点

林が群生している地点である。高塚小屋 (No. 76・78)、新高塚小屋トイレ付近 (No. 81・82・83)、白谷小屋 (No. 84・85)、淀川小屋トイレ付近 (No. 86・87) 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。そこで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 15 と図 16)。通常、 L_i 値の高い土壌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壌である。図 15 と図 16 でみられる興味深い点は、両窒素態の溶出量の低い土サンプルでは、ばらつきは認められるが溶出量は L_i 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。もしも土壌から溶出する両窒素態の主な供給源が有機物(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、高い溶出量が検出された土サンプルの場合、人為的な活動行為によって土壌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(腐植度合の相違等)によって生成供給された両窒素態によってなのか、高い溶出量が検出された明確な要因についてはわからない。

7 おわりに

白神山地と屋久島の両自然遺産地域に関する実態分析から、現状で土壌が有する両窒素態の溶出機能が、自然環境下で賦与されたもの(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。しかし屋久島では周辺に堆積している土壌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壌では、入山者の活動行為に伴う人為的要因に起因して、両窒素態による土壌汚染や、さらにその土壌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も考えられる。両窒素態による土壌・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環境負荷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。

参考文献

- 1) 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 巻 2 号、(財) 水利科学研究所、pp. 37-64、1999。
- 2) 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。
- 3) 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。
- 4) 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。
- 5) 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。
- 6) 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。
- 7) 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。
- 8) 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。

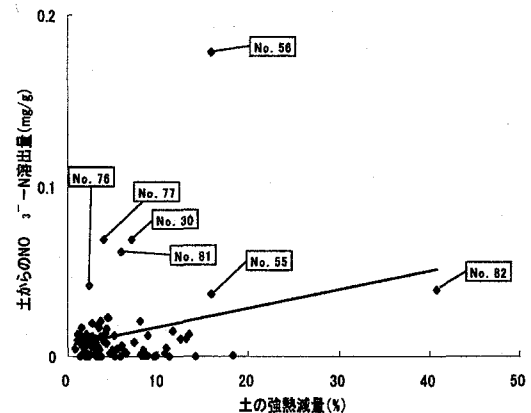


図 15 土から溶出する NO_3^- -N 濃度と強熱減量の関係

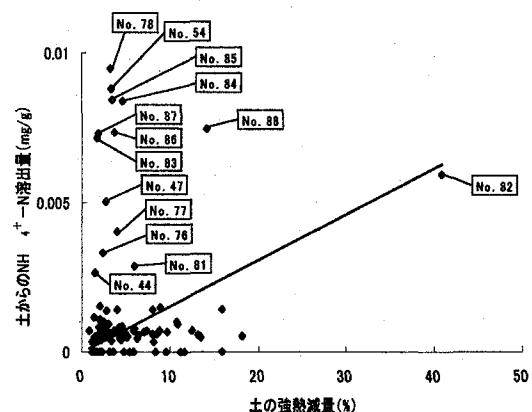


図 16 土から溶出する NH_4^+ -N 濃度と強熱減量の関係