

フィジー諸島共和国 ヴィチレブ南部地域

資源開発協力基礎調査  
環境基礎調査 報告書

第 1 年 次

平成15年 3 月



J1171706(3)

国際協力事業団  
金属鉱業事業団

鉱 調 資
██████████
03-070

フィジー諸島共和国 ヴィチレブ南部地域

資源開発協力基礎調査  
環境基礎調査 報告書

第 1 年 次

平成15年 3 月

国際協力事業団  
金属鉱業事業団



1171706{3}

## はしがき

日本国政府はフィジー諸島共和国政府の要請に応え、同国ヴィチレブ島南部を占める将来鉱山開発可能性のあるナモシ地区を含むヴィチレブ南部地域を対象として、環境基礎調査を実施することとし、その実施を国際協力事業団に委託した。国際協力事業団は本調査の内容が地質、鉱物資源及び自然環境の調査という専門分野に属することから、調査の実施を金属鉱業事業団に委託することとした。本調査は、平成14年度を第1年次として開始された調査の初年次にあたり、金属鉱業事業団は、3名の調査団を編成して、平成14年9月9日から12月14日までの乾季及び2名の調査団を編成して、平成15年1月16日から2月8日までの雨季に現地に派遣した。

現地調査は、フィジー諸島共和国政府機関、土地・ALTA・鉱物資源省鉱物資源局の協力を得て予定どおり完了した。

本報告書は、1年次の調査結果を取りまとめたもので、最終報告書の一部となるものである。

おわりに、本調査の実施にあたってご協力いただいたフィジー諸島共和国政府関係機関ならびに外務省、経済産業省、在フィジー諸島共和国日本大使館及び関係各位の方々に衷心より感謝の意を表するものである。

平成15年3月

国際協力事業団  
総裁 川上 隆朗

金属鉱業事業団  
理事長 松田 憲和



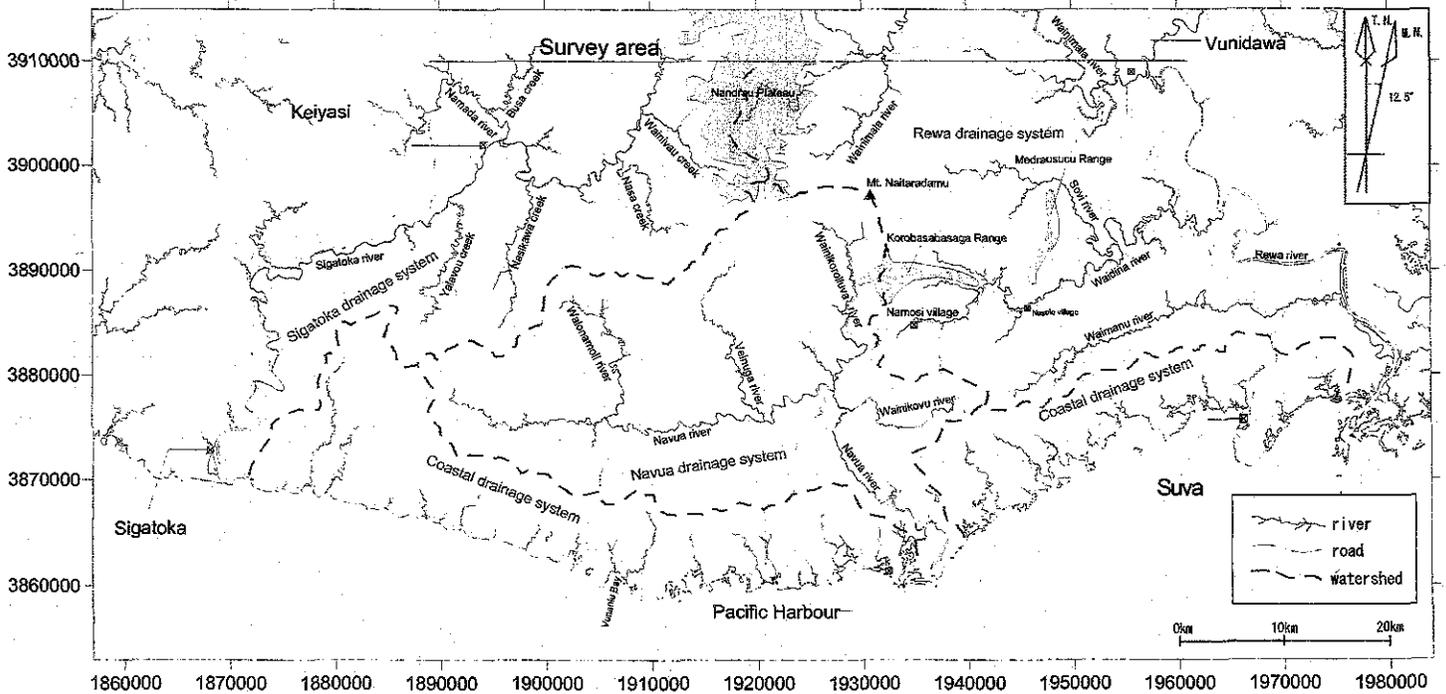
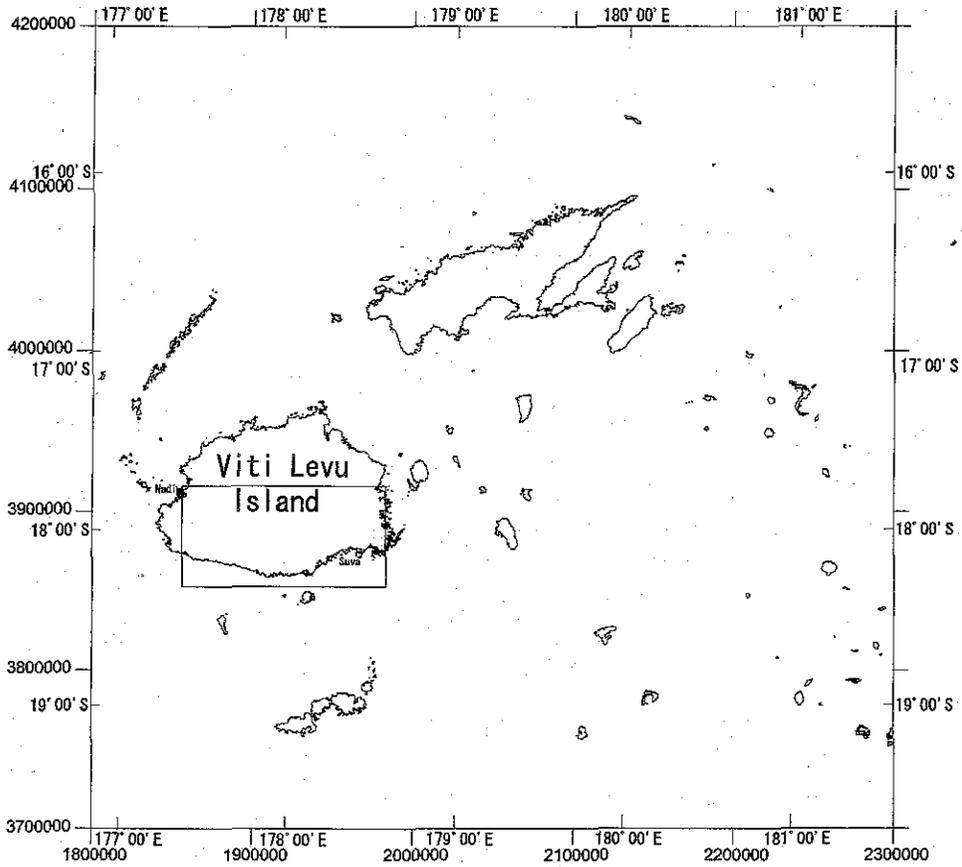


Fig. I-1-1 Location map of the survey area

## 要 約

本調査は、平成 14 年度資源開発協力基礎調査(環境基礎調査)フィジー諸島共和国ヴィチレブ南部地域の第 1 年次調査にあたる。調査目的は、フィジー国内の環境法に準拠した自然環境分野に関するバックグラウンドデータを取得し、今後の開発案件における基礎資料を取りまとめることである。調査団の派遣は、平成 14 年 9 月 9 日から 12 月 14 日までの乾季及び平成 15 年 1 月 16 日から 2 月 8 日までの雨季に行われた。

調査地域は、フィジー諸島共和国の主島ヴィチレブ島の南側約 1/3 を占めており、面積は 4,000 km<sup>2</sup>、東西約 71~129km、南北約 32~36km の範囲にあたる。調査地域は海拔 0m から 1,000m 程度となり、火山島特有の起伏の激しい地形が特徴となる。調査地域の中央部から南東側は、熱帯雨林の植物が良く繁茂し、鳥類等の生物多様性に富んだ地域である。南側の海岸線を走るクウィーンズロード沿い、Suva 市~Nausori~Vunidawa の Rewa 川沿いの平野部、西端の Sigatoka~Keiyasi の比較的開墾が進んだ丘陵部や平野部に農耕地や放牧地が分布し、農村や市街地が分布する。

この地域には稼行中の金属鉱床はないが、地域中央部にポーフィリー型銅鉱床が分布する。その他、地域東部には浅熱水型金鉱床と思われる小規模な Wainadoi-Au 鉱徴地が分布する。

第 1 年次調査では、水文調査、河床堆積物調査、動・植物相調査、土壌バクテリア調査並びに考古学調査を実施した。

水文調査は、調査地域の Rewa 川、Navua 川、Sigatoka 川及び海岸河川の 4 河川水系を対象として、合計 80 地点、88 試料について、河川流量の測定、水質測定、水質分析を行った。本調査地域の 4 河川水系はそれぞれ成分濃度及び成分比が若干異なっており、特に Sigatoka 川水系が Rewa 川水系に比べ、Ca 濃度、HCO<sub>3</sub> 濃度が高い傾向にある。この原因は本河川流域に賦存する石灰岩などの堆積岩の影響を反映していると考えられる。多少の成分濃度及び成分比が異なるものの、本調査地域の河川水の性質は、一般の河川に見られるように、pH は中性で、陽イオンは概ね Ca が、陰イオンは HCO<sub>3</sub> に富む組成を示している。また、フィジー諸島は熱帯雨林に属し気温が高く、降水量が多い地域であるため、特有の性状を示すと考えられたが、本調査地域の河川水の成分及び濃度は、世界の河川水の平均値とほぼ同様の特性を示していた。気象観測装置は Namosi 村小学校内に設置し、気温、風向風速、相対湿度、日射量、降水量の観測体制を確立した。また調査地域内 6 地点において、フィジー政府気象省によって観測されている過去 4 年間の気象データを取得した。

河床堆積物調査は、合計 822 地点、905 試料(内 83 試料は複製)について化学分析を行った。各水系の元素濃度の特徴として、Rewa 川水系は熱水性鉱床の影響が最も強く、Cu, Zn, As, Cd, Sb, Au が高い。Navua 川水系も Rewa 川水系に次いで熱水性鉱床の影響を受けており、Zn, Cd, Sb, Au が高い。Sigatoka 川水系は石灰岩などの堆積岩の影響を受けており、地殻平均程度ではあるが他水系より Ca, Mg が高い。また他水系と同様、Cd, Sb も高い値を示す。海岸河川は Mg, P, K, Ni, Sr, Ba が他水系よりも低い値を示す。地殻平均と比べて特に高い値を示すのは、Cd, Sb, Au であり、分布地域が散在的な Cd と Sb はバックグラウンド自体が高いといえる。これは付近の火成岩自体に含有量が高い事が示唆される。これに対し Au はより偏在的な異常域を示し、熱水性鉱床の影響のある Rewa 川水系の Namosi 地域~Waimanu 川上流、Navua 川水系 Wainikovu 川などに異常が見られる。As も Au と同じような異常域を示している。反対に全水系で地殻平均よりも低いのは Be, Na, Al, P, K, Ni, Sr, Ba, Hg, Pb であり、P, K, Ni, Sr, Ba が特に低い値を示す。

動・植物相調査は、動物相調査、魚類・底生生物の採取と化学分析、植物相調査、植生分布調査からなる。調査地域の動物相は、鳥類を主体とする合計 84 種の動物からなる。ナモシ地区（熱帯雨林地域）における現地調査でも、鳥類は世界的貴重種とされている Pink-billed Parrotfinch を含む 34 種が確認され、爬虫類は Vanua Levu 島でのみ確認された Skink の仲間である *Emoia mokosariniveikau* が見出された。調査地域の植物相は、地形・気候等によって特徴ある 8 の生態系に区分される。広く分布する生態系は Lowland rain forest(熱帯雨林)で、Upland rain forest や Cloud forest といった生態系も内陸山間地には分布する。海岸沿いには Coastal vegetation が、Sigatoka 地域には Grassland vegetation が広く分布する。熱帯雨林地域である Viti Levu 南部地域には、維管束植物の貴重種及び絶滅危惧種が合計 81 種分布する。熱帯雨林の現地調査でも、植物はほぼ 100 % (173 種)在来種で、その内 60 % (104 種) が固有種で、固有種の比率が高く、*Agathis macrophylla - dakua* や着生ランなどの 9 種の貴重種及び絶滅危惧種が分布する。

光学センサ ASTER のシュードカラー画像に基づく植生分布が現地の植物相と良好に一致し、画像の判読から、調査範囲の植物相は、大きく 5 区分されることが判った。

魚類・底生生物に関する調査は、人々が捕食する代表的なウナギと二枚貝のマルシジミを 26 試料採取し、化学分析を行った。微量元素の内、魚の As 値、貝の As 値及び Cd 値が比較的高い値を示す。その他の微量元素は特に高い濃度は認められなかった。

土壌バクテリア調査は、Namosi 地域の 5 地点で土壌サンプリングを行い、有用微生物の一次スクリーニングを実施した。今回採取した一部の試料においてイオウ酸化細菌、鉄酸化細菌、重金属耐性糸状菌・酵母菌と同様の機能を有すると考えられる微生物が検出された。バクテリアリーチングや坑廃水処理に適用可能な微生物が潜在的に生息している可能性があることが明らかとなった。

考古学調査の結果、調査地域には Lapita(約 3000 年以前の人類定住遺跡)と呼ばれる定住遺跡から後期有史時代以前(約 1000 年程度前)並びに後期有史時代の 213 件の史跡文化財が分布している。主要な遺跡は ring ditch, hill fort と呼ばれる環濠・要塞遺跡, koromakawa, naga, yavu と呼ばれる集落や定住遺跡となる。遺跡の多くは Sigatoka, Keiyasi, Suva, Nausori といった河川が流れる平野部とその近傍の丘陵部に分布する。

第 1 年次調査の調査結果から、河床堆積物調査として未調査地域における河床堆積物試料の化学分析が提言される。また総合解析として、河川水質、河床堆積物、土壌、岩石、生物を同一箇所である程度採取・分析し、相互の比較検討と再現性の確認が望まれる。また、観測中の年間気象データと合わせ、季節変化を考慮した河川水の総合解析が望まれる。

# 目 次

はしがき  
調査位置図  
要 約

## 第 I 部 総 論

第 1 章 序論.....	1
1-1 調査の経緯.....	1
1-2 第 1 年次調査概要.....	1
1-2-1 調査の目的.....	1
1-2-2 調査範囲.....	1
1-2-3 調査方法.....	2
1-2-4 調査数量.....	2
1-2-5 調査団の編成.....	4
1-2-6 調査期間.....	4
第 2 章 調査地域の地理.....	5
2-1 位置及び交通.....	5
2-2 地形及び水系.....	5
2-3 気候及び植生.....	5
第 3 章 一般地質.....	8
第 4 章 環境に関する法規制.....	10
第 5 章 調査結果.....	11
5-1 水文調査.....	11
5-2 河床堆積物調査.....	11
5-3 動・植物相調査.....	12
5-4 土壌バクテリア調査.....	13
5-5 考古学調査.....	13
第 6 章 結論及び提言.....	14
6-1 結 論.....	14
6-2 第 2 年次調査への提言.....	16

## 第 II 部 各 論

第 1 章 水文調査.....	17
1-1 目的.....	17
1-2 調査方法.....	17
1-2-1 調査時期.....	17
1-2-2 調査地点.....	17
1-2-3 現地測定及び試料採取方法.....	17
1-3 調査結果.....	21
1-3-1 河川流量の測定.....	21
1-3-2 河川水質の検討.....	21
1-4 気象データの取得.....	43
1-4-1 気象観測装置の設置.....	43
1-4-2 気象データの収集.....	43

1-4-3 調査地域の気象状況 .....	43
1-5 考察 .....	47
第2章 河床堆積物調査 .....	49
2-1 目的 .....	49
2-2 調査方法 .....	49
2-3 調査結果 .....	49
2-3-1 統計処理 .....	49
2-3-2 地化学異常値の分布 .....	49
2-3-3 主成分分析 .....	68
2-3-4 各水系の元素濃度特徴 .....	68
(1) Rewa 川流域の元素濃度特徴 .....	68
(2) Navua 川流域の元素濃度特徴 .....	68
(3) Sigatoka 川流域の元素濃度特徴 .....	68
(4) Coastal 域の元素濃度特徴 .....	74
2-4 考察 .....	74
第3章 動・植物相調査 .....	76
3-1 目的 .....	76
3-2 調査方法 .....	76
3-2-1 動物相調査 .....	76
3-2-2 魚類・底生生物試料採取 .....	76
3-2-3 植物相調査 .....	76
3-2-4 植生分布調査 .....	76
3-3 調査結果 .....	77
3-3-1 動物相調査 .....	77
3-3-2 魚類・底生生物試料採取 .....	81
3-3-3 植物相調査 .....	86
3-3-4 植生分布調査 .....	94
3-4 考察 .....	98
第4章 土壌バクテリア調査 .....	100
4-1 目的 .....	100
4-2 調査方法 .....	100
4-3 分析結果 .....	102
4-4 考察 .....	104
第5章 考古学調査 .....	105
5-1 目的 .....	105
5-2 調査方法 .....	105
5-3 調査結果 .....	105
5-4 考察 .....	108
第Ⅲ部 結論及び提言	
第1章 結論 .....	109
第2章 第2年次調査への提言 .....	111
参考文献 .....	112
添付図表	

## 図表一覧

### Figures

Fig.I-1-1 Location map of the survey area	7
Fig.I-2-1 Topographic map of the Viti Levu South Area.....	7
Fig.I-3-1 Geologic map and mineral occurrences of the Viti Levu South Area.....	9
Fig.II-1-1 Sampling location of the surface water samples .....	19
Fig.II-1-2 Stiff diagrams of the surface water chemical compositions .....	26
Fig.II-1-3 Piper plot of the surface water chemical composition .....	27
Fig.II-1-4 Probability plot of the surface water samples (1)~(5).....	28
Fig.II-1-5 Distribution of geochemical anomaly of the surface water samples (1)EC, (2)Se, (3)As, (4)Cr, (5)Pb, (6)F, (7)Al, (8)Cu, (9)Zn .....	33
Fig.II-1-6 Daily precipitation, humidity, temperature (2002/09/19-2003/01/31)(Namosi area)...	45
Fig.II-1-7 Daily precipitation (1999-2002)(6sites) .....	46
Fig.II-2-1 Location map of the stream sediment samples.....	50
Fig.II-2-2 Probability plot of the stream sediment samples (1)~(4).....	52
Fig.II-2-3 Distribution of geochemical anomaly of the stream sediment samples (1)Au, (2)As, (3)Cd, (4)Cr, (5)Cu, (6)Hg, (7)Mo, (8)Pb, (9)Sb, (10)Zn .....	58
Fig.II-2-4 PCA Score of geochemical analysis of the stream sediment samples (1)Z-1, (2)Z-2, (3)Z-3 .....	70
Fig.II-2-5 The logarithmic average of stream sediment geochemistry normalized by average crustal value. ....	75
Fig.II-3-1 Location of survey trails in the Waivaka Catchment.....	79
Fig.II-3-2 Location map of the fish and shellfish samples.....	82
Fig.II-3-3 Geochemical statics of the fish and shellfish samples.....	85
Fig.II-3-4 Location map of survey sites in Waivaka South .....	90
Fig.II-3-5 Satellite images of Viti Levu South Area (1)~(3).....	95
Fig.II-4-1 Location map of the soil bacteria survey.....	101
Fig.II-5-1 Location map of the archaeological sites.....	107

### Tables

Table I-1-1 Contents of the survey.....	3
Table I-2-1 Summary of the meteorological statistics in Suva, 2001 .....	6
Table II-1-1 Chemical analysis method and limit of reporting.....	20
Table II-1-2 Amount of river water flow .....	25
Table II-1-3 Duplicate water sample data.....	42
Table II-1-4 Technical specifications of weather station .....	44
Table II-1-5 Comparison with chemical composition and ADWG.....	48
Table II-2-1 Basic statistics of the stream sediment samples .....	51
Table II-2-2 Variance-covariance matrix of the stream sediment samples.....	56
Table II-2-3 Correlation matrix of the stream sediment samples .....	56
Table II-2-4 Result of principal component analysis of the stream sediment samples.....	69
Table II-2-5 Basic statistics of stream sediment samples from each drainage system .....	73
Table II-3-1 Preliminary list of terrestrial vertebrates of south east Viti Levu .....	77

Table II-3-2 Location of fish and shellfish samples .....	81
Table II-3-3 Geochemical statics of the fish and shellfish samples .....	84
Table II-3-4 Preliminary list of rare and endangered plant of South East Viti Levu .....	86
Table II-3-5 Classification summary of the vascular plants identified in Waivaka South .....	91
Table II-3-6 Invasive species list for Waivaka South .....	91
Table II-3-7 List of the origin and conservation status of Waivaka South .....	91
Table II-3-8 Satellite images for interpretation.....	94
Table II-3-9 Interpretation of vegetation based on satellite image .....	94
Table II-3-10 Result of vegetation ground truth survey.....	98
Table II-4-1 Characteristics of the soil samples for bacteria .....	100
Table II-4-2 Types of the culture mediums for screening.....	100
Table II-4-3 Condition of the culture mediums.....	100
Table II-4-4 Result of screening sulfate-reducing bacteria .....	102
Table II-4-5 Result of screening sulfur-oxidizing bacteria .....	102
Table II-4-6 Result of screening iron-oxidizing bacteria .....	102
Table II-4-7 Result of screening heavy-metal-resisitant filamentous fungi .....	103
Table II-4-8 Result of screening heavy-metal-resisitant yeast .....	103
Table II-5-1 Summary of the archaeological sites .....	107

## Appendix

Appendix 1 Field data and chemical composition of the surface water	
Appendix 2 Basic statistics of the surface water data (1)~(4)	
Appendix 3 Weather observation data in Namosi area (1)~(20)	
Appendix 4 Weather observation data at 6 sites in the Viti Levu South area(1)~(41)	
Appendix 5 Chemical analysis data of stream sediment samples (1)~(11)	
Appendix 6 Evaluation of duplicate stream sediment samples (1)~(4)	
Appendix 7 Preliminary list of terrestrial vertebrates of Waivaka-South (1)~(8)	
Appendix 8 Assay results of the fish and shellfish samples	
Appendix 9 Rare and endangered plants of South Viti Levu (Namosi, Serua, Naitasiri, Navosa and Rewa) (1)~(3)	
Appendix 10 Preliminary checklist of the flora of Waivaka South, Namosi, Viti Levu (1)~(4)	
Appendix 11 Vegetation Structure (Forest Profile Diagram in Site 1-4) (1)~(4)	
Appendix 12 List of the archaeological sites (1)~(3)	
Appendix 13 Field data and chemical composition of the surface water(Wet season)	
Appendix 14 Vegetation distribution map of the survey area indicating the fauna and flora survey	

## Photograph

PH-1 Photographs of the weather station

PH-2 Photographs and illustrations of the principal fauna in Viti Levu South Area

PH-3 Photographs of the principal flora in Viti Levu South Area

PH-4 Photographs of vegetation ground truth survey

PH-5 Photographs and illustrations of the archaeological sites

## Plate

PL-1 Sample location map of the Viti Levu South Area (1/100,000)

# 第 I 部 総 論

# 第I部 総論

## 第1章 序論

### 1-1 調査の経緯

フィジー諸島共和国では、1868年にヴィチレブ(Viti Levu)島のナブア(Navua)川流域で金が発見されて以来、数々の金・銅の鉱徴地が発見されてきている。特に金に関しては、1932年にバヌアレブ(Vanua Levu)島ヤナワイ(Yanawai)地域の Mt.Kasi 鉱山において生産された金が、初めてフィジーより輸出されて以来、全輸出品目に占める比重が大きく、1996年の時点で81.5百万F\$, 全地場輸出額の9.9%を占め、砂糖、衣類と並ぶ同国の重要な輸出品目となっている。Mt.Kasi 鉱山は金価格の低迷と鉱量の枯渇から、1998年7月に生産中止に追い込まれたが、現在は同国における最大の金鉱山である Emperor 鉱山(Viti Levu 島北部に位置：金品位10.2g/t, 埋蔵量2270千t, 金量約23t)において年間3.5tの金が生産されている。

同国における金属資源に係る探鉱等投資額は、1999年には183万US\$が探鉱費として投入され、探鉱ライセンス数は35に上っている。主としては、Viti Levu 島における銅を対象として、豪州(Western Mining 社)、カナダ(Placer Dome 社)の企業と同国政府の協同事業体(JV)により、1970年代から断続的に探査が実施されてきている。その他、Emperor 鉱山と同一の地質構造帯に位置する Tuvatu 金鉱床でも探鉱プロジェクトが推進されている。

また、本調査地域内には、同国最大のポーフィリー型銅鉱床であるナモシ地区がある。鉱量9.5億t, 品位0.43%Cu, 0.14g/tAu(カットオフ品位0.3%Cu)で、日本企業(日鉄鉱業株)が国際入札で鉱区を取得し、現在探鉱プロジェクトを推進している。

こうした状況からフィジー諸島共和国政府は鉱山開発を積極的に促進する一方、鉱山開発に対する環境保全を念頭に置いた環境影響評価(EIA)を重要視しており、将来的な「持続可能な開発」を促進していく上での自然環境のバックグラウンドデータの取得を目指している。そこで日本との協力調査の実施を日本国政府に要請するに至り(平成13年9月4日交信F第644号)、本格調査開始にあたり、2002年7月4日に日本側国際協力事業団並びに金属鉱業事業団とフィジー諸島共和国土地・ALTA・鉱物資源省の間で Scope of Work(S/W:実施細則)及び Minutes of Meeting(M/M:協議録)が調印された。

### 1-2 第1年次調査の概要

#### 1-2-1 調査の目的

本調査は、将来鉱山開発の可能性のある地区を含むフィジー諸島共和国 Viti Levu 南部地域を対象として、環境基礎調査を行うことにより、近い将来制定が予定されているフィジー国内の環境法に準拠した自然環境分野に関するバックグラウンドデータを取得し、今後の開発案件における基礎資料となる環境基礎調査報告書を取りまとめることを目的とした。また、調査期間を通して、相手国機関に対し、技術移転を図ることも目的とした。

#### 1-2-2 調査範囲

調査範囲は、フィジー諸島共和国の主島 Viti Levu 島の南側約1/3を占めており、レワ州(Rewa Province)、ナモシ州(Namosi Province)、セルア州(Serua Province)、タイレヴ州(Tailevu Province)、ナイトシリ州(Naitasiri Province)、ナンドロンガ・ナヴォサ州(Nandronga & Navosa Province)にまたがる4,000 km<sup>2</sup>の範囲である。範囲は東西約71~129km, 南北約32~36kmとなり、首都スバ市(Suva City)を地域東部に、またナブア(Navua)、コロレブ(Kolorevu)、シンガトカ(Sigatoka)などの町を南側海岸線沿いに含んでいる。

調査地域中央部には、標高1,000m以上のナンドロ高原(Nandrau Plateau)、標高1,147mのコロ

ンバサンバサンガ山地(Korobasabasaga Range), 標高 738m のマンドゥラウスズ山地(Medrausucu Range), 標高 1,152m のナイトラダム山(Naitaradamu)が位置し, 北東から南西側に向かって山地が伸び, 分水嶺を形成している。分水嶺の南東側にレワ川(Rewa River), ナブア川(Navua River)が, また分水嶺の北西側にシンガトカ川(Sigatoka River)が分布する。

### 1-2-3 調査方法

本報告書の解析図は, すべて横メルカトール図法による直交座標系(データム:FMG)で作成した。

#### (1) 水文調査

調査地域内に分布する河川や沢を中心として, 流水の位置と水量・水質を調査するとともに河川, 沢の水量の変化などについて調査し, 地形及び地質構造と地表水の挙動の関係を明らかにするためのデータを得た。また, 調査地域内に気象観測装置を設置し, 気象データの取得を行った。

#### (2) 河床堆積物調査

調査地域内に分布する河川や沢を中心として, 河川や沢の分岐点で, 河床堆積物試料を採取し, 室内試験に供し, 調査地域の広域的地化学特性を把握するためのデータを得た。

#### (3) 動・植物相調査

調査地域における動物の生息状況及び植物の実態を把握するため, 既存文献収集・整理並びに動物相や植物相調査の現状調査を実施し, 貴重種に関するデータを得た。魚類, 底生生物に関してはウナギや貝を代表的な試料として採取し, 重金属元素を分析した。また, 衛星画像等により作成した植生予察図を基に, 植生区分に関するデータを得た。

#### (4) 土壌バクテリア調査

調査対象地域の土壌試料を採取し, 土壌中の微生物の培養試験を行い, バクテリアリーチングあるいは生物学的坑廃水処理への応用可能性を検討するためのデータを得た。

#### (5) 考古学調査

調査対象地域の史跡文化財に関し, 既存の文献または資料により, 文化財の有無及び状況等に関するデータを得た。

### 1-2-4 調査数量

本調査の調査内容及び室内試験項目とそれぞれの数量について Table I-1-1 に示す。

Table I-1-1 Contents of the survey

(1) 調査内容及び数量

調査内容	調査量
水文調査	
全域	調査面積 4,000 km <sup>2</sup> 数量：乾季(河川水質・流量測定, 試料採取)80箇所(88試料) 雨季(河川水質・流量測定, 試料採取)80箇所(88試料) 気象ステーションの設置 1地点及び計測
河床堆積物調査	
全域	調査面積 4,000 km <sup>2</sup> 数量：822箇所(905試料)
動・植物相調査	
全域	調査面積 4,000 km <sup>2</sup> 数量：動物試料採取, 魚 5地点, 貝 21地点 動・植物相現地調査 1地点 植生分布調査(衛星画像現地調査)10地点
土壌バクテリア調査	
全域	数量：試料採取 5地点
考古学調査	
全域	調査面積 4,000 km <sup>2</sup>

(2) 室内試験項目及び数量

室内試験項目	数量
水文調査 水質分析 (蒸発残留物質, 硬度, COD, Cl, SO <sub>4</sub> , HCO <sub>3</sub> , CO <sub>3</sub> , CN, Au, Al, Sb, As, B, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, K, Ag, Na, Zn, F, Se, N(NH <sub>3</sub> ), N(NO <sub>3</sub> ), N(NO <sub>3</sub> ), T-P Sulphide)	196 件
河床堆積物調査 地化学探査サンプル(沢砂)分析 (Au, Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sr, Ti, V, W, Zn)	905 件
動・植物相調査 動物試料化学分析 (Au, Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Sr, Ti, V, W, Zn)	26 件
土壌バクテリア調査 試験項目 (硫酸還元菌, イオウ酸化細菌, 鉄酸化細菌, 重金属耐性糸状菌, 重金属耐性酵母菌)	5 件

### 1-2-5 調査団の編成

日本側

(企画・調整)

鈴木哲夫 金属鉱業事業団  
九二則和 経済産業省  
黒川清登 国際協力事業団  
奥村維男 金属鉱業事業団  
三宅一弘 金属鉱業事業団

フィジー側

Niumaia Tabunakawai 土地・ALTA・鉱物資源省  
Bhaskar Rao 鉱物資源局(局長)  
Vijendra Prasado 鉱物資源局

(環境基礎調査)

高橋 修 日鉄鉱コンサルタント(株) Isereli Nagata 鉱物資源局  
清水 明 日鉄鉱コンサルタント(株) Moape Navia 鉱物資源局  
大久保隆太 日鉄鉱コンサルタント(株) Rudra Deo 鉱物資源局  
Filipe Drutai 鉱山地球科学局  
Apeti Soro 鉱物資源局

(作業監理)

奥村 維男 金属鉱業事業団

### 1-2-6 調査期間

第1年次調査は下記の日程で実施した。

(現地調査)

環境基礎調査 平成14年(2002年) 9月9日 ~ 12月14日(97日間)  
平成15年(2003年) 1月16日 ~ 2月8日(24日間)

(作業監理)

奥村 維男 金属鉱業事業団  
平成14年(2002年) 9月23日 ~ 10月17日(22日間)

## 第2章 調査地域の地理

### 2-1 位置及び交通

Viti Levu 南部地域は、東経 177° 25' ~178° 30', 南緯 17° 45' ~18° 15' の範囲に、また直交座標系の FMG においては 1858250mE~1987650mE, 3874000mN~3910000mN の範囲にあり、フィジー諸島共和国の主島 Viti Levu 島の南側約 1/3 を占めており、Rewa 州、Namosi 州、Serua 州、Tailevu 州、Naitasiri 州、Nandronga & Navosa 州にまたがる 4,000 km<sup>2</sup> の範囲である。範囲は東西約 71~129km, 南北約 32~36km となり、首都 Suva 市を地域東部に、また Navua, Kolorevu, Sigatoka などの町を南側海岸線沿いに含んでいる。

首都の Suva 市は人口約 7 万人で空港、ホテル、日用品デパート、病院などの施設が揃っている。また各町にも市場や政府関係施設、簡易な病院などは存在している。

交通については、調査地域南側の海岸線を走るクウィーンズロードは舗装されているが、内陸部へ向かう道路のほとんどは未舗装である。地域外西岸の Nadi には国際空港があり、Nadi~Suva 市間は車で 4 時間程度である。調査地域内の東端の Suva 市と西端の Sigatoka 間は約 93km, 車で 1 時間半程度を要する。調査は Suva 及びパシフィックハーバー(Pacific Harbour)をベースにし実施した。Naitasiri Province 地域の調査は Suva から約 50km 北(約 1 時間)のブニダワ(Vunidawa)村の政府関係宿舎を、また Nandronga & Navosa Province 地域の調査は Sigatoka から約 50km 北(約 1 時間)のケイヤシ(Keiyasi)村の一軒家をそれぞれ借用して実施した。Namosi Province 北部の調査では、ワイニカタマキャンプ(Wainikatama Camp)をベースにして実施した。

### 2-2 地形及び水系(Fig.I-2-1)

調査地域は海拔 0m から 1,000m 程度となり、火山島特有の起伏の激しい地形が特徴となる。調査地域の北部には、標高 1,000m 以上の Nandrau 高原が、また中央部には標高 1,147m の Korobasabasaga 山地、標高 738m の Medrausucu 山地、標高 1,152m の Naitaradamu 山が位置し、北東から南西側に向かって高原や主尾根が伸び、急峻な山地を形成している。中央部の高原や山地が Viti Levu 島の中央分水嶺となる。分水嶺の北西及び西側は、Sigatoka 川流域の平野部と比較的開析の進んだ緩やかな丘陵地帯からなっている。また南東側の Rewa 川流域や海岸沿いには小規模の平野やデルタ地帯が分布する。

調査地域の水系は、主に 3 つの水系からなる。北東から南西に伸びる中央分水嶺の南東側に Rewa 川が、南側に Navua 川が、また北西及び西側に Sigatoka 川が分布する。中央の山間地を流れる Rewa 川の支流や Navua 川は西から東に向かって流れ、最後にはいずれも南側に流下し、太平洋に注いでいる。調査地域南側の海岸沿いには、小規模河川が多数分布する。

### 2-3 気候及び植生

調査地域の気候は海洋性熱帯気候であり、南東貿易風の影響下にある。5 月から 10 月が乾季で、11 月から 4 月が雨季となる。中央分水嶺を挟んだ南東側は南東貿易風の風上に位置し、一年を通じ降水量が多い。特に雨季には熱帯特有のスコールが見られる。11 月から 4 月にかけてはサイクロンのシーズンとなり高い降水量を示すことがある。Suva 周辺では年間 3,000mm 程度、山間部になると 6,000mm 程度に達する雨量がある。Suva 周辺の月平均降雨量は乾季で 100mm 程度、雨季で 400mm となる。Suva 周辺の気温は月平均最低気温が 21℃~24℃前後、最高気温が 26℃~32℃前後と変化が乏しく、平均日気温 26℃前後と温暖で、年間湿度が 80%程度となる(Table I-2-1)。

調査地域の中央部から南東側は年間を通じて降水量が多いことから、熱帯雨林の植物が良く繁茂している。一方北西~西側は、南東貿易風の風下にあたり、比較的開墾が進んだ丘陵部に草原が、河川部に樹木が分布する。また農耕地は主要な河川である Sigatoka や Rewa 川流域に分布する。熱帯雨林の中心部は固有種の原生林からなる。

**Table I-2-1 Summary of the meteorological statistics in Suva, 2001**

Items	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	YEAR Total/ave.
Rainfall(mm)	354	248	363	443	94	111	96	229	79	304	317	296	2935(mm)
Mean Daily Temperature(°C)	27.8	28.3	27.6	27.9	26.7	24.6	24.0	24.6	25.3	25.3	27.0	27.9	26.4(°C)
Mean Daily Maximum Temperature(°C)	31.8	32.3	31.2	31.5	30.2	27.6	26.9	28.1	28.6	28.8	30.7	31.3	29.9(°C)
Mean Daily Minimum Temperature(°C)	23.8	24.2	24.0	24.2	23.2	21.6	21.0	21.1	22.0	21.7	23.3	24.4	22.9 (°C)
Mean Relative Humidity(%)	82	80	82	83	79	80	80	79	78	77	77	78	79.6(%)

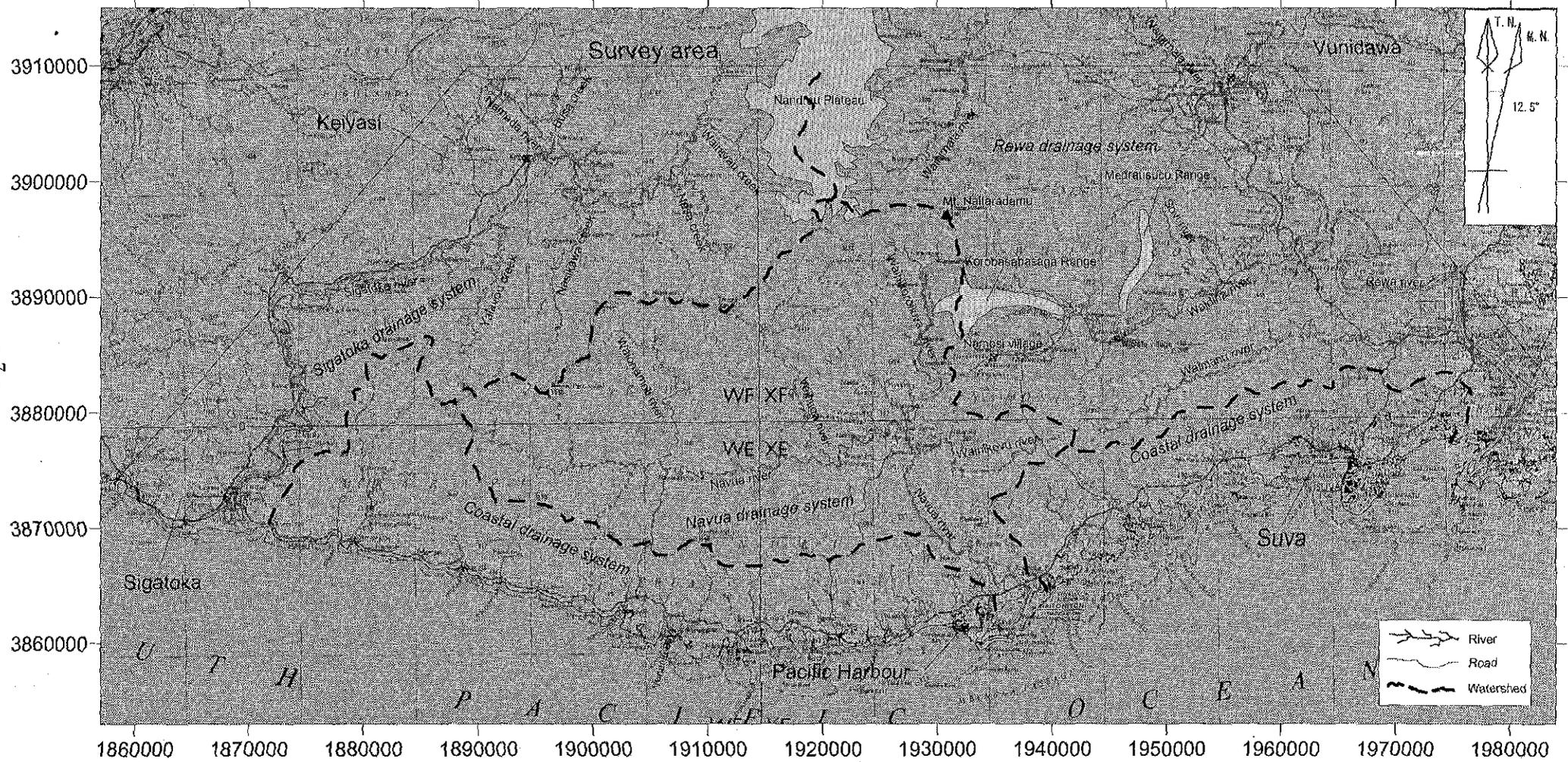


Fig.1-2-1 Topographic map of the Viti Levu South Area

### 第3章 一般地質

フィジー諸島共和国は、ニューギニアからソロモン諸島及びバヌアツを経て連続するインド・オーストラリアプレート及び太平洋プレートの会合部に位置し、65Ma以降の火山島弧の形成とその縁辺部に発達する海洋性堆積盆地からなり、いわゆる環太平洋火山帯の一部を形成している。

調査地域の地質は、全て40Ma以降の新生界からなり、調査地域西部に分布するヤブナ(Yavuna)層群を基盤として、主に下位よりワイニマラ(Wainimala)層群、マンドウラウスズ(Medrausucu)層群が広く分布する。また、コロ(Colo)深成岩類の貫入岩類がこれらの地層を貫いている。Fig.I-3-1に地質図を示す。

Yavuna 層群は40-36Maの枕状溶岩やはんれい岩及び礁性石灰岩を伴い、当地域の基盤岩を構成している。

Wainimala 層群は後期鮮新世～中期中新世の地層で、火山角礫岩や火山性の礫岩からなる下部層と泥質岩や砂岩や礁性石灰岩並びに火山砕屑岩が狭在する上部層からなり、様々な程度に変質しMedrausucu 層群に不整合に覆われている。同時代の地層として、地域東南部のSuva周辺には安山岩類からなるサブラ(Savura)火山岩層が、地域西北部には堆積岩が優勢なシンガトカ(Sigatoka)層群が分布する。

Medrausucu 層群は中期中新世～鮮新世の地層で、主に下部のNamosi安山岩類、上部のコロンバサンバサガ(Korobasabasaga)火砕岩層からなる。Namosi安山岩類中の角閃石安山岩は5.9Maの年代を示す。同時代の堆積岩が優勢な地層が東部及び西部に分布する。地域東部ではベラタ(Verata)堆積岩層が、地域西部にはツバ(Tuva)層群とナボッサ(Navosa)層群が分布する。調査地域の北部には鮮新世のバ(Ba)火山岩層が広く分布する。

Colo深成岩類は古いもので12Ma前後の年代を示し、斑レイ岩からトーナル岩が主体となり、周縁部には閃緑岩や角閃石安山岩が分布する。調査地域中央のナモシ・ワイソイ(Namosi-Waisoi)鉱徴地などには石英閃緑斑岩や角閃石斑岩が露出しており、カリウム変質や珪化変質を伴っている。

地域中央部のNamosi周辺にはWaisoi, Waivaka, Wainabamaなど地域内には15箇所以上の独立したポーフィリー型銅鉱徴地が確認されている。鉱化はMedrausucu層群のNamosi安山岩類とColo深成岩類の接触部に認められる。またNamosi地区の東方側のWaimanu川流域には漂砂型金鉱床並びにWainimala層群とColo深成岩類の接触部にWainadoi-Au鉱徴地が知られている。Suvaの北側には石英安山岩中に小規模な塊状硫化鉱からなるColo-I-Suva鉱徴地(Zn-Cu-Au-Ag)が分布する。

その他に、Navua川流域の黒鉱型に類似する塊状硫化鉱を主体とするWainaleka鉱徴地(Cu-Zn), Rama Creek鉱徴地(Cu-Au)が分布する。Sigatoka川流域のWainimala層群分布域には火山性の塊状硫化鉱からなるNakoro鉱徴地(Zn-Cu-Pb-Ag-Au)が、またSigatoka川下流のWainimala層群分布域には小規模なSulua Creek, Korotoga鉱徴地(Cu-Zn)が分布する。

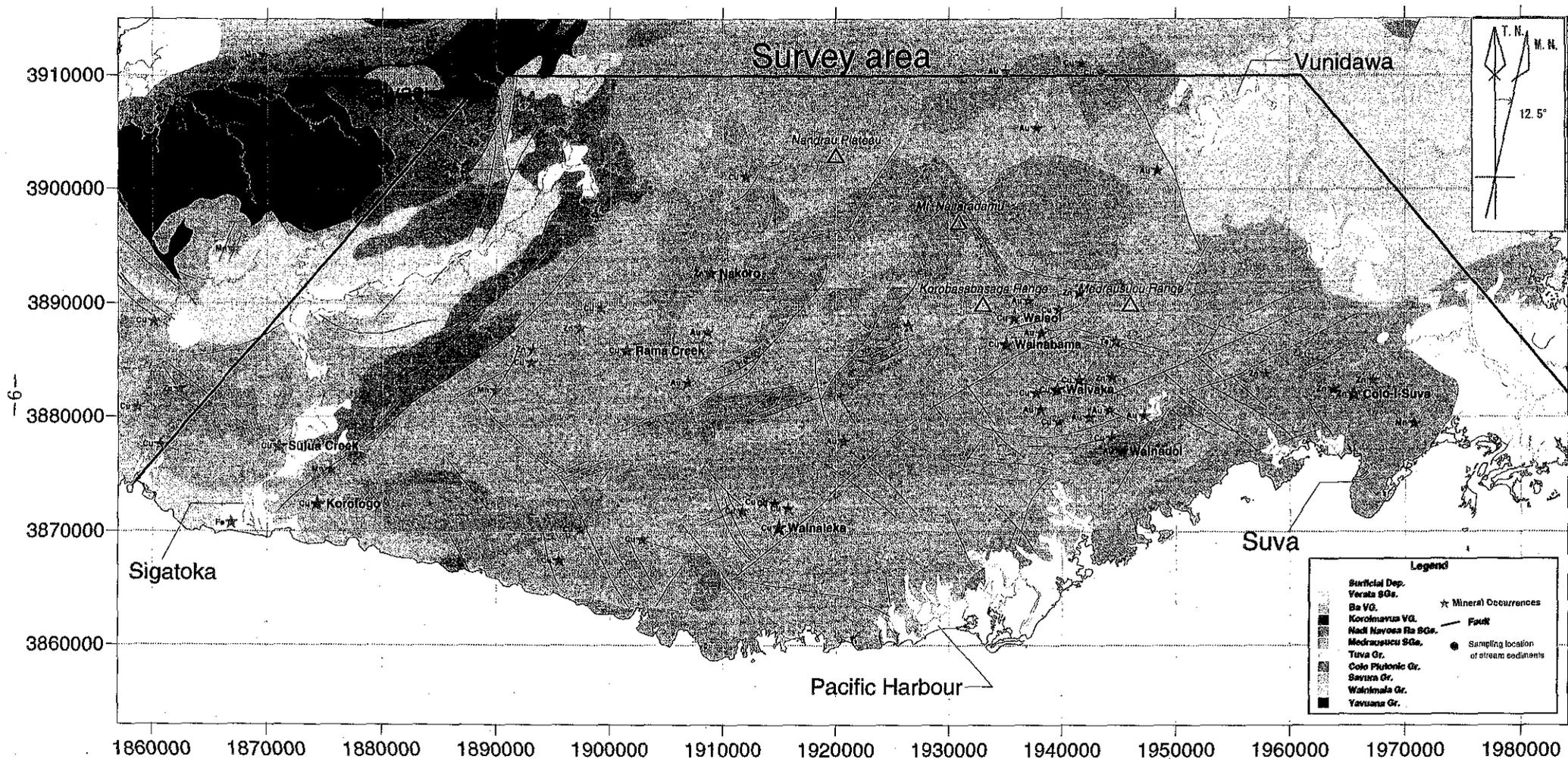


Fig. I-3-1 Geologic map and mineral occurrences of the Viti Levu South area (1:500,000)

## 第4章 環境に関する法規制

フィジー諸島共和国における環境に関する政策として、現在環境省が所掌しているフィジー生物多様化戦略と計画(Fiji Biodiversity Strategy and Action Plan)がある。現在内閣にて議論されている最中である。また、環境影響評価(Environmental Impact Assessment:EIS)を規定する Sustainable Development Act も制定に向け法案が審議されている。

現在審議されている Sustainable Development Act においては、鉱山開発、鉱山跡処置、鉱砕処理を含む全ての開発行為を対象とした環境影響評価の内容やプロセス、環境に関する規則、天然資源管理計画、違反と罰則等が規定されることとなる。

フィジー国内における環境に関する地域の認定、調査及び保護に関する法規制として以下の条例がある。

- National Trust for Fiji Act and Amendment Act

本条例においては、フィジーの自然保護地域が規定されている。本調査地域内においては、Sovi Basin, Monosavu-Nadrau Plateau, また Rewa Delta が、優先的に保護すべき地域として、選定されている。

文化的遺産の認定、調査及び保護に関する法規制は National Trust for Fiji Act and Amendment Act に加えて以下の条例が存在する。

- Preservation of Objects of Archaeological and Palaeontological Interest Act

環境に関する水質基準などに関しては、WHO の基準が適用されている。

## 第5章 調査結果

### 5-1 水文調査

調査地域内に分布する河川や沢を中心として、流水の位置と水量・水質を調査するとともに河川、沢の水量の変化などについて調査し、地形及び地質構造と地表水及び地下水の挙動の関係を明らかにするためのデータを得た。また、調査地域内に気象観測装置を設置し、気象データの取得を行った。

調査は、Rewa 川水系 37 地点、Navua 川水系 15 地点、Sigatoka 川水系 19 地点及び海岸河川を 9 地点、合計 80 地点、88 試料(内 8 試料は複製)を対象に、現地では河川流量の測定・水温・pH・電気伝導度・濁度・DO の水質測定調査及び試料の採取を行い、分析所において 33 元素の化学分析を行った。

河川水の水質測定及び主要成分の分析の結果以下のことが把握された。電気伝導度は水系によって異なる傾向にあり、Rewa 川水系の平均値は 8.44mS/m であるのに対し Sigatoka 川水系の平均値は 25.6mS/m であった。また、pH についても Rewa 水系の平均値は 7.5 であるのに対し Sigatoka 水系の平均値は 8.11 であった。陰イオンについては、Rewa 川水系、Navua 川水系、Sigatoka 川水系及び海岸河川の 4 河川水系とも  $\text{HCO}_3^-$  が卓越し、陽イオンについては、Navua 川水系、Sigatoka 川水系とも Ca が卓越しているが、Rewa 川水系及び海岸河川では陽イオンの濃度差はあまり見られない。Sigatoka 川水系が他の 3 河川に比べ主要陽イオン及び陰イオンの合計濃度が高いが、これが電気伝導度や pH を高めている要因であると思われる。さらに Ca 濃度及び  $\text{HCO}_3^-$  濃度が高い原因は Sigatoka 川流域に賦存する石灰岩などの堆積岩の影響を反映していると考えられる。

このように、本調査地域内で多少の成分濃度及び成分比が異なるものの、本調査地域の河川水の性質は、一般の河川に見られるように、pH は中性で、陽イオンは概ね Ca に、陰イオンは  $\text{HCO}_3^-$  に富む組成を示している。このようなアルカリ土類炭酸塩の水質を持つ水は不圧地下水循環性の地表水として考えられている。また、フィジー諸島は熱帯雨林に属し気温が高く、降水量が多い地域であるため、特有の性状を示すと考えられたが、本調査地域の河川水の成分及び濃度は、世界の河川水の平均値とほぼ同様の特性を示していた。

微量成分に関し、ADWG(Australian Drinking Water Guidelines)による規制値と比較してみると、以下のような元素が多く含まれる地点が見られた。

Se : 16 地点, Ni : 2 地点, Pb : 2 地点, Fe : 2 地点, Al : 3 地点

今後、高濃度を示した地点周辺において、河床堆積物の採取と岩石採取を行い、比較検討と再現性の確認や飲料用坑井のモニタリング調査を行うことが望まれる。

気象観測装置は Namosi 村小学校内に設置し、気温、風向風速、相対湿度、日射量、降水量の観測体制を確立した。また調査地域内 6 地点において、フィジー政府気象省によって観測されている過去 4 年間の気象データを取得した。本データは今後行われる水文調査のベースデータとして供されることになる。

### 5-2 河床堆積物調査

調査地域内に分布する河川や沢を中心として、河川や沢の分岐点で河床堆積物試料を採取し、室内試験に供し、調査地域の広域的地化学特性を把握するためのデータを得た。採取試料数は 905 試料で内 83 試料を複製試料とした。

調査地域内には大きく分けてレワ川水系(Rewa drainage system)、ナブア川水系(Navua drainage system)、シンガトカ川水系(Sigatoka drainage system)、海岸河川水系(Coastal drainage system)が存在する。各水系の元素濃度特徴の概略を述べる。Rewa 川水系は熱水性鉱床の影響が最も強く、Cu、Zn、As、Cd、Sb、Au が高い。Navua 川水系も Rewa 川水系に次いで熱水性鉱床の影響を受けており、Zn、Cd、Sb、Au が高い。Sigatoka 川水系は石灰岩などの堆積岩の影響を受

けており、地殻平均程度ではあるが他水系より Ca, Mg が高い。また他水系と同様、Cd, Sb も高い値を示す。海岸河川は Mg, P, K, Ni, Sr, Ba が他水系よりも低い値を示す。

全水系に共通な傾向としては、S, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Zn, As, Cd, Sb, Au が地殻の平均値に比べて高い値を示す。今回の試料の中には磁鉄鉱が多量に含まれているものも確認されていることから、磁鉄鉱中で Fe と共存しやすい Co, V, Zn, Mn, Cd などは磁鉄鉱の含有量が高いことに起因する可能性もある。地殻平均と比べて特に高い値を示すのは、Cd, Sb, Au であり、分布地域が散在的な Cd と Sb はバックグラウンド自体が高いといえる。これは付近の火成岩自体に含有量が高い事が示唆される。これに対し Au はより偏在的な異常域を示し、熱水性鉱床の影響のある Rewa 川水系の Namosi 地域～Waimanu 川上流、Navua 川水系 Wainikovu 川などに異常が見られる。有害元素の As も Au と同じような異常域を示している。反対に全水系で地殻平均よりも低いのは Be, Na, Al, P, K, Ni, Sr, Ba, Hg, Pb であり、P, K, Ni, Sr, Ba が特に低い値を示す。

今後、未調査地域ならびに異常地域において、第 1 年次と同様の調査が望まれる。また基盤地質を代表する地点で、各種岩石の化学分析を行い、河床堆積の分析結果を比較検討することが望まれる。

### 5-3 動・植物相調査

動・植物調査として、動物相調査、魚類・底生生物採取とその分析、植物相調査、植生分布調査を行った。

内陸性の脊椎動物相は、鳥類が約 150 種と多く、次に爬虫類、両生類となる。調査地域を代表する熱帯雨林地域である Viti Levu 南東部地域の動物相は外来種も含めて合計 84 種となり、鳥類が 51 種、哺乳類が 11 種、爬虫類が 19 種、両生類が 3 種類分布する。熱帯雨林地域でも、鳥類は、世界的貴重種とされている Pink-billed Parrotfinch を含む 34 種が確認され、鳥類に関してはほとんど乱されていない生物多様性に関して富んだ地域である。爬虫類の中で Vanua Levu 島でのみ確認された Skink の一種である *Emoia mokosariniveikau* が見出された(詳細は確認中)。

魚類・底生生物に関する調査は、人々が捕食しているウナギと二枚貝のマルシジミを 26 試料採取し、化学分析(28 元素)を行った。魚及び貝とも各元素の濃集する傾向はほぼ一致するが、魚に Ca, Mg, Na, K と微量元素である B, Sr が濃集する傾向が、一方、貝に Fe, Al と微量元素の As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Ti, V が濃集する傾向がある。

フィジー全体の植物相は、地形・気候等によって、Small Island Vegetation(マングローブ、灌木と草)、Mangrove forest and Shrubs(On large Islands) (マングローブ林と灌木)、Coastal vegetation(マングローブ、灌木と草)、Freshwater wetland Vegetation(湿地帯)、Lowland rain forest(熱帯雨林)、Upland rain forest(山地熱帯雨林)、Cloud forest(湿潤雨林)、Grassland vegetation(草原)といった特徴ある 8 の生態系に区分される。広く分布する生態系は熱帯雨林である Lowland rain forest で、Upland rain forest や Cloud forest といった保護すべき生態系も内陸山間地には分布する。Sigatoka 地域には Grassland vegetation が広く分布する。調査地域を代表する熱帯雨林地域である Viti Levu 南部地域には、維管束植物の貴重種及び絶滅危惧種が合計 81 種分布する。熱帯雨林の現状調査では、植物はほぼ 100% (173 種) 在来種で、その内 60% (104 種) が固有種で、固有種の比率が高いのが特徴である。*Agathis macrophylla* - *dakua* や着生ランなどの 9 種の貴重種等が分布し、植物の多様性に関して富んだ地域である。

光学センサ ASTER の可視センサを利用したシュードカラー画像に基づく植生分布図が現地の植生分布と良好に一致した。調査範囲の植生分布は、画像判読から大きく 5 区分された。赤紫色領域

は高所山岳地帯に分布しており山地熱帯雨林や湿潤雨林または熱帯雨林に、赤紫～紺色領域は山岳中腹域に分布しており中～疎密度の熱帯雨林に、青色領域は地形起伏の大きくない領域に分布しており樹木の少ない草原に、それぞれ対応すると推定された。また、緑～黄色領域は、特徴的に河川沿いに分布するため面積の狭い草原や湿地帯と推定された。

#### 5-4 土壌バクテリア調査

調査地域内で今後開発が期待される金属鉱山において、将来微生物を用いたバクテリアリーチング及び生物学的坑廃水処理に適用可能な微生物を獲得できる可能性があるかを検討するため、Namosi 地域内の 5 地点において土壌サンプリングを行い、有用微生物の一次スクリーニングを実施した。対象微生物はバクテリアリーチングに適用可能な微生物として鉄酸化細菌およびイオウ酸化細菌、坑廃水処理に適用可能な微生物として鉄酸化細菌、硫酸還元菌、重金属耐性糸状菌および重金属耐性酵母類である。今回採取した土壌はいくつかの培地条件で培養された。これらの培養条件の中から、一部の試料においてイオウ酸化細菌、鉄酸化細菌、重金属耐性糸状菌・酵母菌と同様の機能を有すると考えられる微生物が検出された。これらの微生物群が、実際のバクテリアリーチングや坑廃水処理に適用できるかは、更なる詳細な実験を実施しなければ明確ではないが、当該調査地域においても、これら技術に適用可能な微生物が潜在的に生息している可能性があることが明らかとなった。

#### 5-5 考古学調査

調査地域には初期の Lapita(約 3000 年以前の人類定住遺跡)と呼ばれる定住遺跡から後期有史以前時代(約 1000 年程度前)並びに後期有史時代の 213 件の史跡文化財が分布している。主要な遺跡は ring ditch, hill fort と呼ばれる環濠・要塞遺跡, koromakawa, naga, yavu と呼ばれる集落や定住遺跡となる。遺跡の多くは Sigatoka, Keiyasi, Suva, Nausori といった河川が流れる平野部とその近傍の丘陵部に分布する。

今回の調査によって主要な既知の史跡文化財の有無に関してはほぼ情報の収集は完了したが、考古学的文化遺産に関する調査や評価は十分には実施されておらず、将来の開発案件においては案件毎に考古学的影響調査(Archaeological Impact Assessment:AIA)が必要となる。

## 第6章 結論及び提言

### 6-1 結論

本年度は第1年次調査で、調査地域の Viti Levu 南部地域を対象として、水文調査、河床堆積物調査、動・植物相調査、土壌バクテリア調査並びに考古学調査を実施した。調査地域の気候は5月から10月の乾季と11月から4月の雨季に分けられる。第1年次の調査は、乾季の安定した時期である9月～11月にかけて実施した。水文調査に関しては、2月の雨季のデータに関しても取得した。

水文調査は、調査地域の Rewa 川、Navua 川、Sigatoka 川及び海岸河川の4河川水系を対象として、合計80地点、88試料について、河川流量の測定、水質測定、水質分析を行った。河川水はその組成から、4河川水系とも  $\text{HCO}_3^-$  が卓越していること、また Navua 川、Sigatoka 川とも Ca に卓越する特徴があること、Sigatoka 川水系が Rewa 川水系に比べ、Ca 及び  $\text{HCO}_3^-$  濃度が高くかつ pH 及び電気伝導度が高い傾向にあることが判った。Sigatoka 川水系の Ca 及び  $\text{HCO}_3^-$  濃度が高い原因は Sigatoka 川流域に賦存する石灰岩などの堆積岩の影響を反映していると考えられる。

このように、本調査地域内で多少の成分濃度及び成分比が異なるものの、本調査地域の河川水の性質は、一般の河川に見られるように、アルカリ土類炭酸塩領域に属し、不圧地下水の循環性の供給型地表水で、pH は中性で、陽イオンは主に Ca が、陰イオンは  $\text{HCO}_3^-$  に富む組成を示している。本調査地域の河川水の成分及び濃度は、世界の河川水の平均値とほぼ同様の特性を示していた。

気象観測装置を Namosi 村小学校内に設置し、気象観測体制を確立した。フィジー政府気象省によって観測されている過去4年間の気象データを取得した。本データは今後行われる水文調査のベースデータに供されることになる。

河床堆積物調査は、合計822地点、905試料(内83試料は複製)について化学分析を行った。各水系の元素濃度特徴として、Rewa 川水系は熱水性鉱床の影響が最も強く、Cu, Zn, As, Cd, Sb, Au が高い。Navua 川水系も Rewa 川水系に次いで熱水性鉱床の影響を受けており、Zn, Cd, Sb, Au が高い。Sigatoka 川水系は石灰岩などの堆積岩の影響を受けており、地殻平均程度ではあるが他水系より Ca, Mg が高い。また他水系と同様、Cd, Sb も高い値を示す。海岸河川は Mg, P, K, Ni, Sr, Ba が他水系よりも低い値を示す。

地殻平均と比べて特に高い値を示すのは、Cd, Sb, Au であり、分布地域が散在的な Cd と Sb はバックグラウンド自体が高いといえる。これは付近の火成岩自体に含有量が高い事を示唆している。これに対し Au はより偏在的な異常域を示し、熱水性鉱床の影響のある Rewa 川水系の Namosi 地域～Waimanu 川上流、Navua 川水系 Wainikovu 川などに異常が見られる。As も Au と同じような異常域を示している。反対に全水系で地殻平均よりも低いのは Be, Na, Al, P, K, Ni, Sr, Ba, Hg, Pb であり、P, K, Ni, Sr, Ba が特に低い値を示す。

動・植物相調査は、動物相調査、魚類・底生生物の採取と化学分析、植物相調査、植生分布調査からなる。調査地域の動物相は、鳥類を主体とする合計84種の動物からなる。熱帯雨林地域での現地調査でも、鳥類は、世界的貴重種とされている Pink-billed Parrotfinch を含む34種が確認され、鳥類に関しては生物多様性がほとんど改善されずに残されている地域である。爬虫類の中で Vanua Levu 島でのみ確認された Skink の1種である *Emoia mokosariniveikau* が見出された(詳細は確認中)。調査地域の植物相は、地形・気候等によって特徴ある8の生態系に区分される。広く分布する生態系は Lowland rain forest(熱帯雨林)で、Upland rain forest や Cloud forest といった保護すべき生態系も内陸山間地には分布する。海岸沿いにはマングローブからなる Coastal vegetation が、Sigatoka 地域には Grassland vegetation が広く分布する。熱帯雨林地域である Viti Levu 南部地域には、維管束植物の貴重種及び絶滅危惧種は合計81種分布する。熱帯雨林の現状調

査では、植物はほぼ 100 % (173 種) 在来種で、その内 60 % (104 種) が固有種で、固有種の比率が高いのが特徴である。*Agathis macrophylla* - *dakua* や着生ランなどの 9 種の貴重種等が分布し、植物の多様性に関して富んだ地域である。光学センサ ASTER のシュードカラー画像に基づく植生分布が現地の植物相と良好に一致する。調査範囲の植物相は、画像判読からおおきく 5 区分された。魚類・底生生物に関する調査は、人々が捕食する代表的なウナギと二枚貝のマルシジミを 26 試料採取し、化学分析を行った。

土壌バクテリア調査は、Namosi 地域内の 5 地点において土壌サンプリングを行い、有用微生物の一次スクリーニングを実施した。今回採取した一部の試料においてイオウ酸化細菌、鉄酸化細菌、重金属耐性糸状菌・酵母菌と同様の機能を有すると考えられる微生物が検出された。バクテリアリーチングや坑廃水処理に適用可能な微生物が潜在的に生息している可能性があることが明らかとなった。

考古学調査の結果、調査地域には初期の Lapita (約 3000 年以前の人類定住遺跡) と呼ばれる定住遺跡から後期有史時代以前 (約 1000 年程度前) 並びに後期有史時代の 213 件の史跡文化財が分布している。主要な遺跡は ring ditch, hill fort と呼ばれる環濠・要塞遺跡, koromakawa, naga, yavu と呼ばれる集落や定住遺跡となる。遺跡の多くは Sigatoka, Keiyasi, Suva, Nausori といった河川が流れる平野部とその近傍の丘陵部に分布する。

調査地域の Viti Levu 南部地域の中央部から南東側は、熱帯雨林の植物が良く繁茂し、鳥類等の生物多様性に富んだ地域である。南側の海岸線を走るクウィーンズロード沿い、Suva 市～Nausori～Vunidawa の Rewa 川沿いの平野部、西端の Sigatoka～Keiyasi の比較的開墾が進んだ丘陵部や平野部に農耕地や放牧地が分布し、農村や市街地が分布する。一方、住民の生活活動が広範囲に及ぶ各水系沿いは、住民生活向上に伴い森林の伐採、生活排水、バッテリー等の化学物質の廃棄等環境負荷が増加していると推定される。フィジー諸島共和国の環境に関する法規制は、近年整備され始めたばかりで、早期に環境基準データを取得することは重要である。本調査によって得られた多くのデータは、今後の産業開発案件の環境評価に有益となるものと結論される。

## 6-2 第2年次調査への提言

第1年次調査の調査結果から、第2年次の調査として以下の項目が提言される。調査目的は、自然環境分野に関するバックグラウンドデータを取得し、今後の開発案件における基礎資料となる環境基礎調査報告書を取りまとめることにある。

### (1) 河床堆積物調査

- 各水系の上流部、特に Rewa 川上流の Sovi Basin や Waidina 川や Waimanu 川、Navua 川上流といった未調査地域において、第1年次と同様の河床堆積物調査が提言される。なお、河床堆積物の分析結果との比較検討のため、基盤地質を代表する地点で、岩石の化学分析が望まれる。

### (2) 総合解析

- 第1年次に行われた河川水質・河床堆積物・魚類・底生生物などの調査結果を総合的に解析するため、河川水質、河床堆積物、土壌、岩石、生物を同一箇所である程度採取・分析し、相互の比較検討と再現性の確認が望まれる。
- 水文調査に関しては、第1年次は乾季の調査データを基に解析を行った。観測中の気象データと合わせ、季節変化を考慮した河川水の総合解析が望まれる。

## 第Ⅱ部 各 論

## 第II部 各論

### 第1章 水文調査

#### 1-1 目的

調査地域内に分布する河川や沢を中心として、流水の位置と水量・水質を調査するとともに河川、沢の水量の変化などについて調査し、地形及び地質構造と地表水及び地下水の挙動の関係を明らかにするためのデータを得ることを目的とした。また、調査地域内に気象観測装置を設置し、気象データを取得することとした。

#### 1-2 調査方法

##### 1-2-1 調査時期

調査地域の気候は海洋性熱帯気候であり、5月から10月が乾季で、11月から4月が雨季となる。河川水の流量・水質は降水による影響を強く受けるため、流量・水質について議論するには雨季と乾季に異なった降水量の時期に調査を行う必要があると考え、雨季及び乾季の2回にわたり調査を行った。調査期間(測定及び試料採取)は次の通りである。

乾季調査	2002年9月20日～10月24日	1回
雨季調査	2003年1月20日～2月	1回

##### 1-2-2 調査地点

調査地域において河川水系としては Viti Levu 島中央山間部を水源とする Rewa 川、Navua 川、Sigatoka 川の各水系と、海岸線から約 10 km 以内を集水域とする小河川の 4 つの水系から成っている。本来、調査地点としては小ブロックの集水域を持つ支流を多数調査することが好ましいが、調査地点数の制限から、今回は、様々な集水域を持つ支流、本流を調査地点として選定した。

現地調査では Rewa 川水系 37 地点、Navua 川水系 15 地点、Sigatoka 川水系 19 地点、海岸河川を 9 地点合計 80 地点、88 試料(内 8 試料は複製)について調査を行った。調査地点は乾季、雨季とも同一地点である。Fig.II-1-1 に調査地点位置図を示した。

##### 1-2-3 現地測定及び試料採取方法

###### (1) 河川流量の測定

河床に障害物が少なく、河川湾曲部に遠く層流になっている箇所を選定した。川幅を 10～12 等分し、水深と流速を交互に測定した。流速の測定は水深 50 cm 以下の場合には、1 箇所、50 cm 以上の場合には 2 箇所に於いて実施した。流速の測定はプロペラ式流速計(広井電気式)(三映測量器(株)製)を、川幅の測定は間縄を、水深の測定は箱尺を用いた。水深が深く又は流速が早い場合など、人力で河川に立ち入ることが出来ない場合には、ボートを使用し、ボート上から上記測定を行った。河川流量は、各ブロック毎に断面積に流速を乗じ、それぞれを積算し求めた。

###### (2) 水質現地測定方法

現地に於いて、多機能測定器により水温、pH、電気伝導度、濁度、DO の測定を行った。測定は河川の中央部に本器のプロープを浸し、安定した数値を読みとった。測定器の仕様は次の通りである。

測定器形式	: 東亜理化製(水質チェッカー WQC-22A)
水温	: 白金測温抵抗体式
溶存酸素	: 隔膜形ガルバニ電池式
pH	: ガラス電極式

電気伝導度：4 電極式

濁度：90 度散乱光測定式（赤外 LED による断続光使用）

(3) 試料採取及び前処理

河川水試料の採取及び前処理は以下の方法で実施した。

河川中央部において、1 リットル容器で河川水を汲み取り、5 つの試料容器に分取した。容器は、空気の混入を避けるようにして口元まで採取し密栓した。前処理として、金属元素分析用の試料は、0.22 ミクロンメートルのフィルターで濾過した後、硝酸で酸性にした。NH<sub>3</sub>、T-P、COD の分析用試料については、硫酸を添加し酸性にした。T-CN の分析用試料には NaOH を添加した。Sulfide の分析用試料には(Zinc acetate + NaOH)を添加した。

(4) 現地記録

対象地点を含む近景・遠景写真をデジタルカメラで撮影した。

(5) 分析項目及び分析方法

分析所において、採取した試料の化学分析を行った。Table II-1-1 に分析項目、分析方法及び分析精度を示す。

分析元素は仕様書に記載された 23 元素以外に、オーストラリア飲料水ガイドライン：ADWG(Australian Drinking Water Guidelines)に掲載されている B, Ag, Ba, Mo, N(NO<sub>2</sub>), N(NO<sub>3</sub>), Sb 等についても分析を行った。

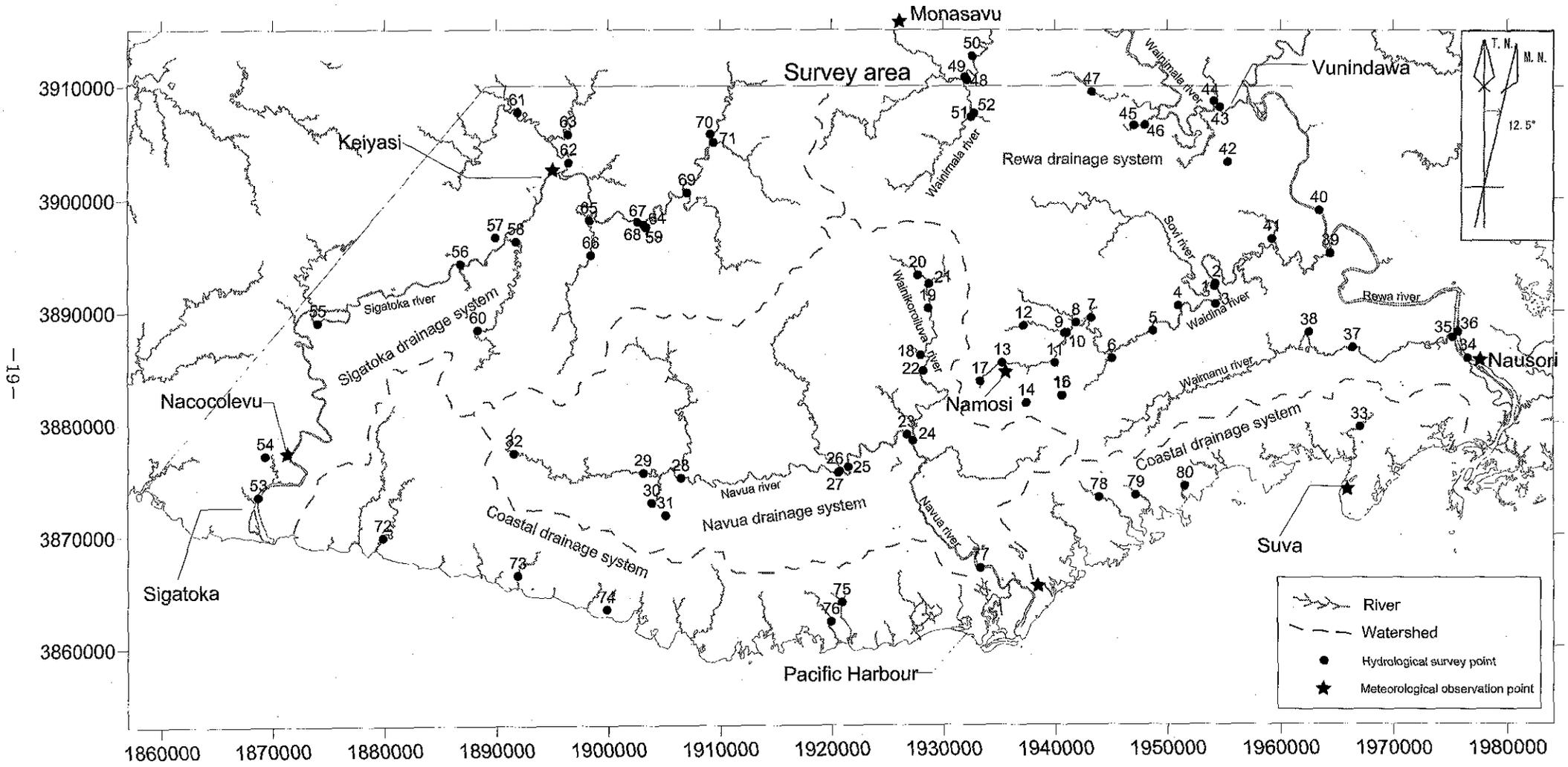


Fig.II-1-1 Sampling location of the surface water samples (1:500,000)

Table II-1-1 Chemical analysis method and limit of reporting

ANALYTE	UNIT	METHOD/REFERENCE	LIMIT OF REPORTING
pH Value		4500H	0.01
Electrical Conductivity @ 25'c	uS/cm	2510B	1
Total Dissolved Solids (TDS)	mg/L	Calculation from E.C.	1
Total Hardness as CaCO <sub>3</sub>	mg/L	Calc.,2340B	1
Calcium - Filtered	mg/L	ICPAES	1
Magnesium - Filtered	mg/L	ICPAES	1
Sodium - Filtered	mg/L	ICPAES	1
Potassium - Filtered	mg/L	ICPAES	1
Carbonate as CaCO <sub>3</sub>	mg/L	2320B	1
Bicarbonate as CaCO <sub>3</sub>	mg/L	2320B	1
Sulphate - Filtered	mg/L	ICPAES	1
Chloride	mg/L	4500CIB	1
Boron - Filtered	mg/L	ICPAES	0.1
Iron - Total	mg/L	ICPAES	0.01
Selenium - Total	mg/L	ICPAES	0.01
Silver - Total	mg/L	ICPMS	0.001
Aluminium - Total	mg/L	ICPMS	0.01
Arsenic - Total	mg/L	ICPMS	0.001
Barium - Total	mg/L	ICPMS	0.001
Chromium - Total	mg/L	ICPMS	0.001
Copper - Total	mg/L	ICPMS	0.001
Manganese - Total	mg/L	ICPMS	0.001
Molybdenum - Total	mg/L	ICPMS	0.001
Nickel - Total	mg/L	ICPMS	0.001
Lead - Total	mg/L	ICPMS	0.001
Antimony - Total	mg/L	ICPMS	0.001
Zinc - Total	mg/L	ICPMS	0.001
Mercury - Total	mg/L	FIMS	0.0001
Total Cyanide	mg/L	4500CN C&N	0.001
Fluoride	mg/L	4500 FC	0.1
Ammonia as N	mg/L	4500 NH <sub>3</sub> -H	0.01
Nitrite as N	mg/L	4500 NO <sub>3</sub> I	0.01
Nitrate as N	mg/L	4500 NO <sub>3</sub> I	0.01
Phosphorus as P - Total	mg/L	4500 P H	0.01
Sulphide	mg/L	4500 S <sub>2</sub> -D	0.1
Chemical Oxygen Demand	mg/L	5220B	1

### 1-3 調査結果

水文調査は、乾季及び雨季の2回に亘って実施したが、本報告書に纏めた調査結果は乾季の調査結果に留めた。雨季の調査結果を含め総合解析は次年度に実施する。なお、雨季における河川水現地測定データ及び溶存化学成分分析値を Appendix 13 に示す。

#### 1-3-1 河川流量の測定

調査地域の水系は、主に3つの水系からなる。北東から南西に伸びる中央分水嶺の南東側に Rewa 川、Navua 川が、また北西側に Sigatoka 川が分布する。中央の山間地を流れる Rewa 川の支流や Navua 川は西から東に向かって流れ、最後にはいずれも南側に流下し、太平洋に注いでいる。調査地南側の海岸沿いには、小規模の河川が多数分布する(Fig.II-1-1 参照)。河川流量の測定は調査地域内に分布する河川や沢を中心として、80地点において実施した。調査地点は枝沢から本流河口まで様々であるため、流量も大きく異なり最小河川流量は 0.03m<sup>3</sup>/秒(45)、最大河川流量は 339m<sup>3</sup>/秒(34)であった。また、河川流量測定地点の中には、潮汐の影響を受け逆流している河川が見られた。Rewa 川河口の 35 及び 36、Sigatoka 川河口の 53 は逆流している中で流量を測定せざるを得なかった(Table II-1-2 参照)。今後河川流量のデータは、雨季に行われた流量データと合わせ、雨季、乾季の河川成分の解釈や水収支の解析に供する。

#### 1-3-2 河川水質の検討

現地調査では調査地域内に分布する河川や沢を中心として、80地点、88試料(内8試料は複製)において水質の調査を行った。また、調査地域内に賦存する湧水及び温泉水各1箇所について、同様の調査を行った。各地点では気温、pH、水温、電気伝導率、溶存酸素及び濁度を現地にて測定し、水質については ADWG に沿った分析項目をオーストラリアの ALS Environments 社にて分析した。河川水現地測定データ及び溶存化学成分分析値を Appendix 1 に、水系毎のデータ統計値を Appendix 2 に示した。

##### (1) 河川水質の特徴

###### 1) 河川水の物理的性質の特徴

###### [水温]

河川水温は最低 21.3℃、最高 30.6℃を示し調査地点全体の平均は 24.4℃であった。平均水温は平均気温(26.3℃)に対し約 2℃低いことになる。水系による水温の差異は見られなかった。

###### [濁度]

濁度の最低値は 0mg/l、最高値は 28mg/l(25 Navua 川上流)であり、かなり澄み通った水であった。水系による濁度の差違は見られなかった。

###### [電気伝導度]

海水が混入していると思われる河川及び温泉水を除いて、河川水の電気伝導度は最低値 3.5mS/m(17 Rewa 上流)、最高値 40.7mS/m(56 Sigatoka 中流)、平均値 13.1mS/m であった。水系によって電気伝導度が異なる傾向があり、Rewa 水系の平均値は 8.44mS/m であるのに対し Sigatoka 水系の平均値は 25.6mS/m であった。

###### 2) 河川水の溶存成分及び成分比の特徴

###### [pH]

河川 pH は最低 6.39(42 Rewa 湧水)、最高 8.44(64)を示し調査地点全体の平均は 7.72 であり、弱酸性～中性～弱アルカリ性の液性を示している。水系によって pH が異なる傾向があり、Rewa 水系の平均値は 7.50 であるのに対し Sigatoka 水系の平均値は 8.11 であった。

###### [DO]

河川の DO は最低 4.78mg/l(78 Coastal), 最高 15.4mg/l(33 Rewa 下流)を示し調査地点全体の平均は 10.8mg/l であった。水系間の差異は見られない。

#### [COD]

河川の COD は最低 0.5mg/l(11 Rewa 中流), 最高 51.0mg/l(48 Rewa 上流)を示し調査地点全体の平均は 8.2mg/l であった。数値のばらつきは大きい。Rewa 水系の平均値は 10.3mg/l であるのに対し, Sigatoka 水系は 7.5mg/l, Navua 水系は 3.9mg/l であった。

#### [Hardness]

Ca と Mg との合計を, これと当量の  $\text{CaCO}_3$  に換算したものである。海水が混入していると思われる河川(52)及び温泉水(64)を除いて, 河川の硬度は最低 11mg/l(4, Rewa 中流), 最高 153mg/l(56, Sigatoka 下流)と幅広い値を示している。水系別には Rewa 水系の平均値は 25.2mg/l, Sigatoka 水系は 84.6mg/l, Navua 水系は 45.4mg/l であり, Sigatoka 水系が最も硬度が高い。

#### [主要成分による検討]

調査地域の河川水の水質をスティフダイヤグラムとパイパープロットで検討を行った。

スティフダイヤグラムは 1 地点の水質の構成を 1 つのグラフで示したものであり, 左右にそれぞれ陽イオンと陰イオンの成分溶存量(meq/l)を三軸上取る。このグラフは含有量の絶対量を示すことが出来, 多くの箇所の水質をその形で比較することが出来る利点を持っている。Fig.II-1-2 に河川水組成のスティフダイヤグラムを示す。

陰イオンについては, Rewa 川, Navua 川, Sigatoka 川及び Coastal 河川の 4 河川水系とも槍型であり  $\text{HCO}_3^-$  が卓越していることを示している。陽イオンについては, Navua 川, Sigatoka 川ともほぼ槍型であり Ca が卓越していることを示している。Rewa 川及び Coastal 河川では陽イオンの差はあまり見られない。このダイヤグラムの大きさから主要成分の総濃度を読みとること, Sigatoka 川が他の 3 河川に比べ高濃度であることが判る。Rewa 川の中でも Waidina 川の濃度が低い。

パイパープロットは, 河川水の成分を陽イオン Na+K, Ca 及び Mg, 陰イオン  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ , Cl 及び  $\text{SO}_4^{2-}$  の meq/l で示し, それぞれの合計を 100%とし, 個々の成分が占める割合を図に表現したものである。Fig.II-1-3 に河川水組成のパイパープロットを示す。それぞれの試料が占める位置からその河川水の特徴を読みとることが出来, 一般には次のように解釈されている。

#### I: アルカリ土類非炭酸塩領域

地下水にはあまり見られない。

#### II: アルカリ土類炭酸塩領域

$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  からなり, 主として不圧地下水はこの部分にある。循環性の供給型地下水である。被圧地下水もこの地点にあるがもっと広範囲に散り, 徐々に III に移行する傾向がある。

#### III: アルカリ炭酸塩領域

$\text{Na}_2\text{CO}_3$  や  $\text{K}_2\text{CO}_3$  からなり, 被圧地下水はここに集まる。被圧地下水は停滞性のもので, この位置は停滞性の水質を示している。

#### IV: アルカリ非炭酸塩領域

塩化物, 硫酸塩が主体で海水の混入, 化石海水の混入した地下水と考えて良い。

本調査地域の陰イオンについては, ほとんどの地点とも  $(\text{Cl} + \text{SO}_4)$  に対し  $(\text{HCO}_3^-)$  の割合が多い。Navua 川及び Sigatoka 川は Rewa 川に比し  $\text{HCO}_3^-$  の割合が多い。陽イオンに関しては, Navua 川及び Sigatoka 川は  $(\text{Na} + \text{K})$  に対し  $(\text{Ca} + \text{Mg})$  の割合が多いが, 一部の Rewa 川に  $(\text{Na} + \text{K})$  の割合が多いものがある。大局的には, 4 河川とも II のアルカリ土類炭酸塩領域に属し, 不圧地下水の循環性の供給型地表水である。

(2) 河川水中の微量成分について

Fig.II-1-4 に示すように Fe, Al, Ba, Cu, Mn, Ni, Zn について累積頻度分布曲線を作成し、屈曲点を求めしきい値とし、Fig.II-1-5 に示す濃度分布図を作成した。

以下に、各微量成分濃度の検出有無及び異常値について述べる。

1) 検出されなかった微量元素

B, Mo, Sb, Hg, Sulphide

2) 一部の地点だけで検出された元素

[Se]

Rewa 川 6 点(11, 13, 35, 36, 37, 38), Navua 川 1 点(28), Sigatoka 川 9 点(54, 55, 58, 59, 60, 61, 65, 69, 70)で Se の検出下限値 0.01mg/l 以上であった。

[Ag]

Rewa 川 4 地点(14, 39, 40, 51)で Ag の検出下限値 0.001mg/l 以上であった。

[As]

Rewa 川 1 地点(8), Navua 川 5 地点(19, 23, 24, 26, 30)で As の検出下限値 0.001mg/l 以上であった。

[Cr]

Rewa 川 4 地点(34, 35, 36, 38), Sigatoka 川 6 地点(61, 62, 63, 69, 70, 71)で Cr の検出下限値 0.001mg/l 以上であった。

[Pb]

Rewa 川 2 地点(14, 15)で Pb の検出下限値 0.001mg/l 以上であった。

[CN]

Rewa 川 2 地点(7, 51), Coasta2 地点(75, 76)で CN の検出限界値 0.001mg/l 以上であった

[F]

Sigatoka 川 7 地点(54, 55, 57, 58, 60, 68, 72)で F の検出下限値 0.1mg/l 以上であった。

3) 地域全体に亘って検出された元素

[Fe]

Fe 濃度は最低 0.01mg/l 以下, 最高 0.58mg/l(41 Rewa)を示し調査地点全体の平均は 0.055mg/l であった。しきい値を 0.2mg/l とすると, 異常値を示す地点は Rewa 川(17, 41), Navua 川(25), Coastal(73)で認められた。

[Al]

しきい値を 0.1mg/l とすると, 異常値を示す地点が Rewa 川(11, 17, 41), Navua 川(24, 25, 27), Coastal(75) で認められた。

[Ba]

Ba は最低 0.001mg/l 以下, 最高 0.014mg/l を示し調査地点全体の平均は 0.003mg/l であった。しきい値を 0.008mg/l とすると, 異常値を示す地点が Rewa 川(6, 15, 16, 17, 37, 41, 42, 53) で認められた。

[Cu]

Cu は最低 0.001mg/l 以下, 最高 0.027mg/l(61 Rewa)を示し, 調査地点全体の平均は 0.002mg/l であった。しきい値を 0.004mg/l とすると, 異常値を示す地点は Rewa 川(9, 12, 37, 41), Sigatoka 川(59, 61, 68, 69, 70), Coastal(72)で認められた。

[Mn]

河川の Mn は最低 0.001mg/l 以下, 最高 0.071mg/l を示し調査地点全体の平均は 0.012mg/l であった。しきい値を 0.03mg/l とすると, 異常値を示す地点は Rewa 川(3, 41), Sigatoka 川(56,

57, 58), Coastal(72, 73, 80)で認められた。

[Ni]

河川の Ni は最低 0.001mg/l 以下, 最高 0.027mg/l(44 Rewa)を示し調査地点全体の平均は 0.0025mg/l であった。しきい値を 0.008mg/l とすると, 異常値を示す地点は Rewa 川(36, 44, 51), Navua 川(19), Coastal(73, 74)で認められた。

[Zn]

河川の Zn は最低 0.001mg/l 以下, 最高 0.106mg/l(41 Rewa)を示し調査地点全体の平均は 0.007mg/l であった。しきい値を 0.004mg/l とすると, 異常値を示す地点は Rewa 川(7, 8, 9, 10, 11, 14, 17, 41, 51), Navua 川(20, 21, 25, 30), Coastal(72, 74)で認められた。

[複製試料について]

80 地点の調査地点の中から, ランダムに 8 地点において複製試料を採取し, 本試料と同様の分析を行った。その結果を Table II-1-3 に示す。本試料と複製試料の間には殆どの元素について相関が見られるが, 今後, 雨季の分析結果と合わせ解析を行い再現性について検討を行う必要があると思われる。