

3-4 パラナ洪水玄武岩の地化学的特徴

3-4-1 パラナ洪水玄武岩の地化学的特徴

パラナ洪水玄武岩は、低 Ti、Intermediate-Ti および高 Ti の大きく 3 タイプのマグマに分類される。この 3 つのマグマタイプは、微量成分の検討から、部分熔融の程度の違いにより説明できると考えられるが、マグマソースの違いによる可能性も無視できないため、今後、分析試料数を増やして検討していく必要がある。

低 Ti タイプの Esmeralda マグマは、Th, Ta, Y, Zr の含有量と $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比から相対的に最も未分化である。同じく低 Ti タイプの Gramado マグマは、各元素において直線状の結晶分化トレンドを示さないことや、高い $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比から、大陸地殻の混染が、他のマグマタイプに比べて大きかったと考えられる。

Cu, Au, Pt, Pd に最も富むマグマタイプは、Intermediate-Ti タイプの Parapanema-Ribeira で、高 Ti タイプは相対的に乏しい特徴を示す。低 Ti タイプの Gramado は、Pt と Pd において、富むグループと乏しいグループの 2 つに分かれる。これは、地殻物質の混染による PGE の枯渇の影響を示している可能性が考えられる。

3-4-2 パラナ洪水玄武岩の PGE 含有量について

第 II 部 1-3 で述べたように経済性を有する正マグマ性硫化物鉱床を生成するためには、硫黄に不飽和なマグマの発生と地殻浅所への貫入が必要である。このようなマグマは高い Pt と Pd の含有量を示すはずである。

本年度採取されたの溶岩試料のタイプ別の Pt と Pd の含有量は Table II-3-4-1 に示すとおりである。また Fig.II-3-4-1 に Pt と Pd の関係図を示す。

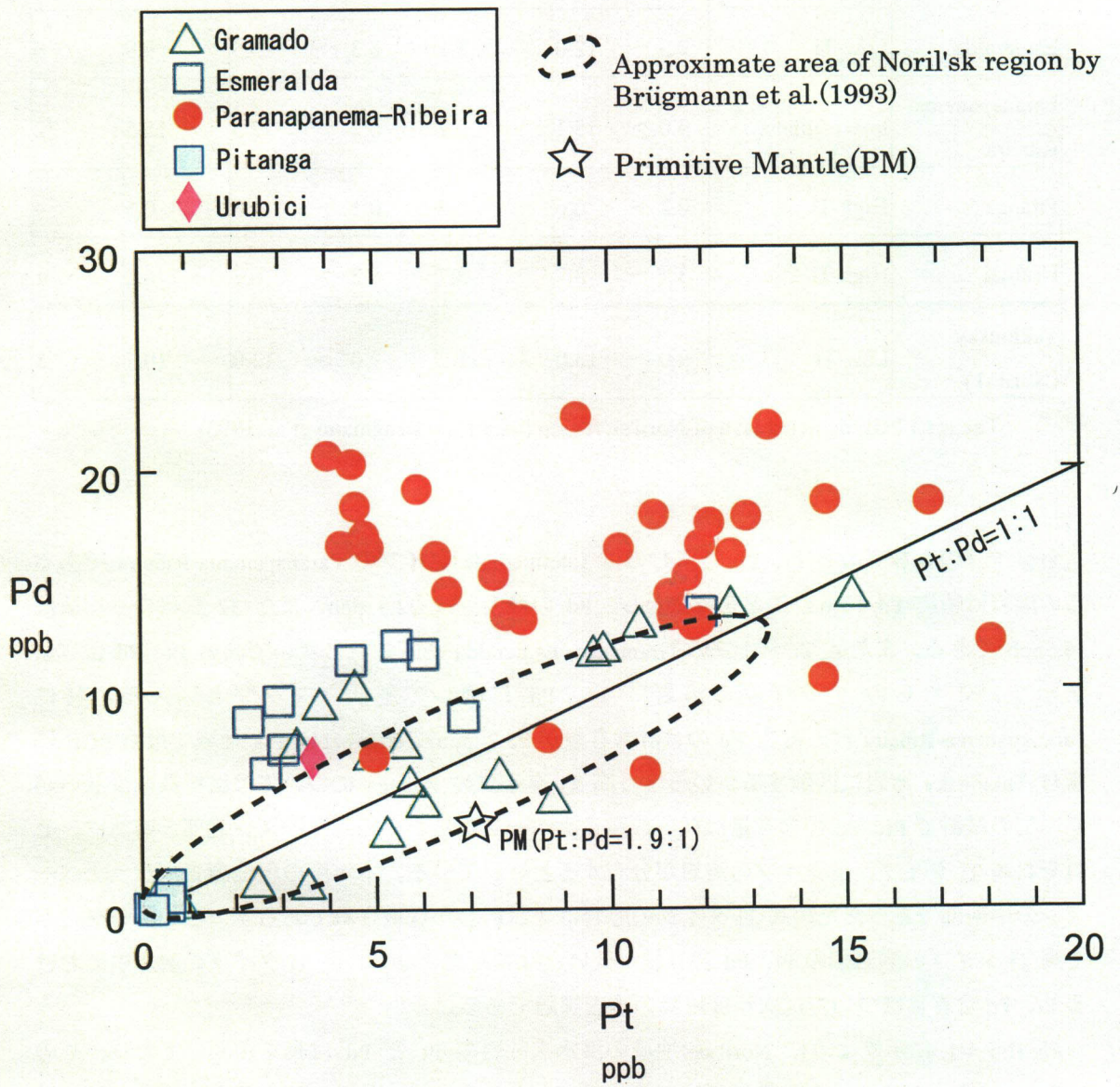


Fig. II-3-4-1 Pt-Pd correlation in lavas

Table II-3-4-1 Platinum and palladium concentrations of lava samples

Lava	Type	Pt(ppb)		Pd(ppb)		number
		range	average	range	average	
Gramado	Low-Ti	0.3 ~ 15.2	6.4	0.6 ~ 13.7	7.0	19
Esmeralda	Low-Ti	2.3 ~ 12.0	5.1	6.3 ~ 13.5	9.9	9
Paranapanema-Ribeira	Intermediate	4.0 ~ 18.1	9.7	6.2 ~ 22.3	15.5	32
Pitanga	High-Ti	0.2 ~ 0.6	0.4	0.1 ~ 1.3	0.5	4
Urubici	High-Ti	3.7 ~ 3.7	3.7	6.2 ~ 6.2	6.2	1
Tuklonsky (Noril'sk)*	Low-Ti	9.0 ~ 13.0	11.2	9.0 ~ 13.0	10.7	5

*The least PGE depleted lava of Noril'sk region (data from Brüggmann et al.,1993)

全タイプのうちで最も Pt、Pd に富むのは Intermediate タイプの Paranapanema-Ribeira である。この溶岩は特に Pd に富むことを特徴とし、Pd の最大値は 22.3 ppb、また 32 試料の平均値は 15.5ppb である。また低 Ti タイプの Gramado、Esmeralda も、これに次いで高い Pt、Pd 含有量を示す。これらの 3 タイプの溶岩は Pt、Pd に関して肥沃なマグマといえる。特に Paranapanema-Ribeira は、Pt と Pd の合計含有量が 25.2 ppb であり、Noril'sk 地域で最も PGE に富む Tuklonsky 溶岩に匹敵する。いっぽう高 Ti タイプの Pitanga については試料数は少ないが、すべての試料で Pt、Pd の含有量は低い。パラナベズンにおいてはベズン北部と南部に、それぞれ高 Ti タイプ、低タイプの溶岩が分布するとされている。本年度の現地調査がパラナベズンの中南部であったため高 Ti タイプの溶岩は 4 試料しか採取されておらず、このデータのみで高 Ti タイプの溶岩類の Pt、Pd 含有量が低いとは判断できない。高 Ti タイプの溶岩中における Pt、Pd 含有量については次年度以降の調査課題である。

Fig.II-3-4-1 に示すように Noril'sk 地域の洪水玄武岩の Pt と Pd は良く相関しており、その Pt/Pd 比は約 1 である。この値はプリミティブマンタルの Pt/Pd 比 (1.9) よりも小さい。これは Noril'sk 地域のマグマが Pd に対し Pt に枯渇していることを示している。このような非プリミティブマンタル的な Pt/Pd 比は、起源物質の特徴を反映しているものと考えられ、その起源は大陸下のリソスフェアマンタルあるいはマンタル下部から発生するプリュームに求められるかも知れない (Brüggmann et al.,1993)。パラナベズン地域のマグマについては Pt/Pd<1 であり、Noril'sk 地域のマグマよりさらに Pt に枯渇しており、より非プリミティブマンタル的である。

その傾向は Paranapanema-Ribeira においてより明らかである。このことからパラナベズン地域のマグマは、Noril'sk 地域のマグマと同様に非プリミティブマンツル的であり、Pd に対する Pt の枯渇の程度はより大きいといえる。

Fig.II-3-4-2 に Cu と Pd の関係図を示す。この 2 元素は共に硫化物メルトに濃集する性質を持っているが、Pd の方がより濃集しやすい。硫化物メルト-珪酸塩マグマ間の分配係数は銅で 600~1,000 であるのに対し、Pd では 10,000~100,000 である。従って Pd の方が 15~100 倍程度、硫化物メルトに濃集する。このため珪酸塩マグマが硫黄に飽和して不混和硫化物メルトを分離すれば、珪酸塩マグマ中の Pd と Cu は共に枯渇するが、枯渇の程度は Pd の方が著しく大きい。従って、不混和硫化物メルトの分離が進むに従って、珪酸塩マグマの Pd/Cu が急激に低下するはずである。

Fig.II-3-4-2 からはパラナベズン地域のそれぞれの溶岩タイプが特定の領域にプロットされることが分かる。5 タイプの溶岩のうち、Intermediate タイプの Paranapanema-Ribeira と低 Ti タイプの Esmeralda の全試料が硫黄に不飽和な領域にプロットされ、Pd 含有量も高い。特に Paranapanema-Ribeira は Pd、Cu 共に高い領域にプロットされる。同じく低 Ti タイプの Gramado の大部分の試料は硫黄に不飽和な領域にプロットされるが、一部の試料は硫黄に飽和した領域にプロットされ、これらは Pd に枯渇している。このことから Paranapanema-Ribeira、Esmeralda、Gramado の起源マグマは硫黄に不飽和であったが、Gramado の一部のみが硫黄に飽和して不混和硫化物を分離していた可能性が考えられる。一方、高 Ti タイプの Pitanga は 4 試料全てが Pd に枯渇しており、硫黄に飽和した領域にプロットされる。以上よりパラナベズン地域においては低 Ti および Intermediate-Ti タイプの起源マグマは硫黄に不飽和であったが、高 Ti タイプの起源マグマは硫黄に飽和していた可能性が考えられる。しかしながら高 Ti タイプに関しては今回の試料数が少ないため、今後さらに多くの試料による検証が必要である。

パラナベズンの洪水玄武岩と Noril'sk 地域の洪水玄武岩を比較すると、全体的な傾向としてパラナベズンの洪水玄武岩は Noril'sk 地域の洪水玄武岩に比べて Cu に富む。Noril'sk 地域の洪水玄武岩のうち Noril'sk 鉱床生成の発端となった玄武岩は Tuklonsky 溶岩と考えられており（第 II 部 1-3 参照）、同地域の洪水玄武岩の中で最もプリミティブで PGE に富んでいる（Brüggmann et al.,1993 によれば Pt、Pd 共に 9~13 ppb）。一方、パラナベズン地域の洪水玄武岩の中で最もプリミティブな組成を持つのは Paranapanema-Ribeira であり、この溶岩タイプの PGE 含有量は Noril'sk 地域の Tuklonsky 溶岩のそれを凌いでいる。従って PGE に関する肥沃度という観点からは、パラナベズン地域のマグマは Noril'sk 地域のマグマとほぼ同等であり、第 II 部 1-3 で示した正マグマ性硫化物鉱床生成に必要な第 1 条件「硫黄に不飽和なマグマの発生と地殻浅所への貫入」を満たしているといえる。以上より、パラナベズン地域のマグマは、他の条件さえ整えば、鉱床を生成し得るポテンシャルを有していると考えられる。

3-4-3 地殻物質の混染作用と PGE 含有量の関係

次に地殻物質の混染作用と PGE 含有量の関係について考察する。正マグマ性硫化物鉱床を生

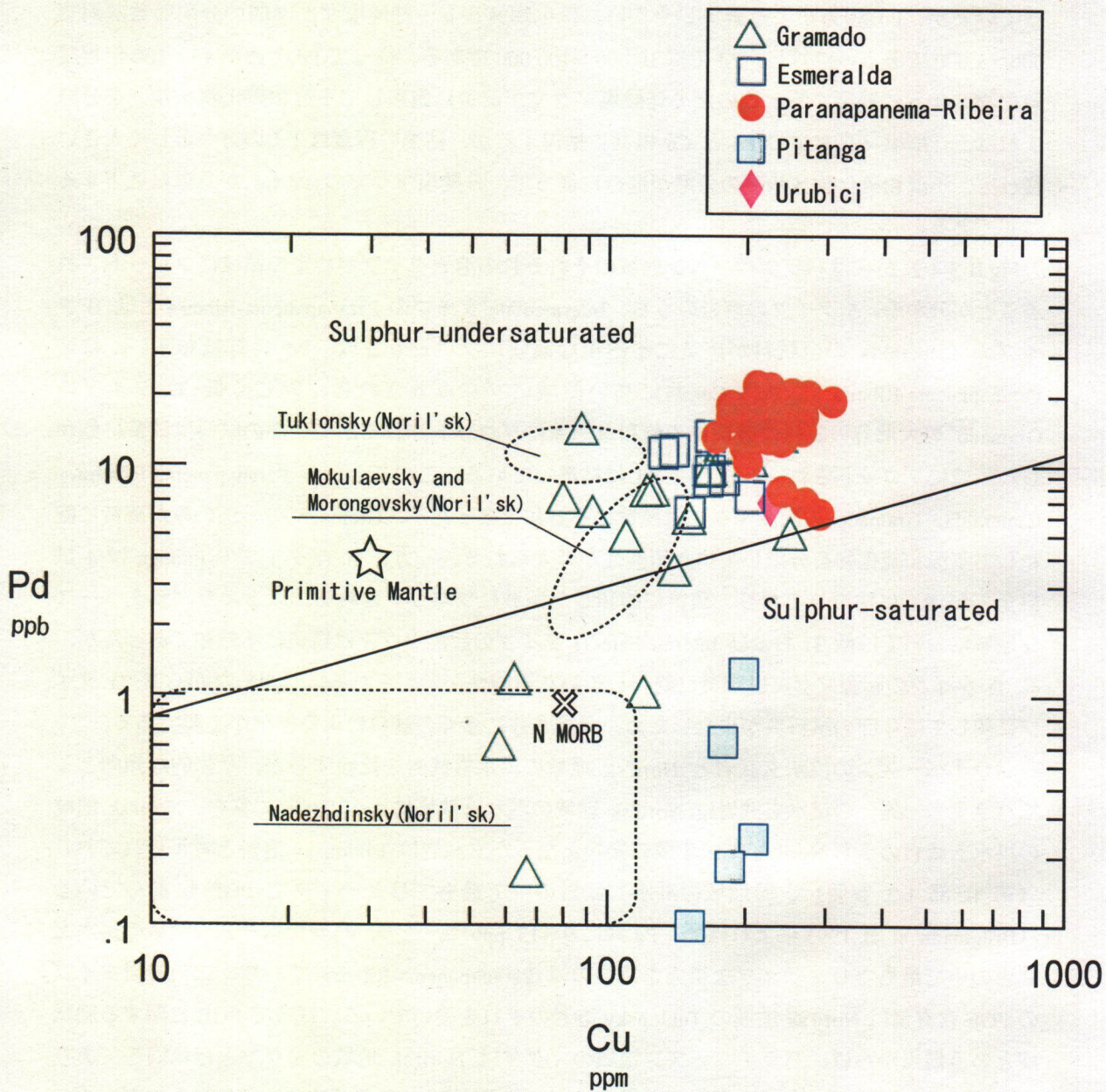


Fig. II-3-4-2 Cu vs. Pd discriminant diagram between the field of rocks formed by Sulphur-saturated magmas and the field of rocks formed by Sulphur-undersaturated magmas

成するためには、上述の PGE に富んだマグマが地殻物質を混染して不混和硫化物を分離することが必要である。パラナベズン地域において地殻物質の関与が最も大きいと考えられるのは Gramado の起源マグマである。Gramado も Paranapanema-Ribeira と同様に Pt、Pd に富んでいるが、このタイプのもう一つの特徴は他タイプに比べて著しく Th、U、Rb に富んでおり、地殻物質の中でもより上部の花崗岩質物質を混染している可能性があることである。このことは Sr と Nd の同位体比からも示された。このタイプの Pt、Pd は共に広い範囲にばらつき、これらに枯渇した試料も存在する。従って Gramado の一部については、地殻物質の混染作用によって不混和となった硫化物メルトが分離除去された可能性が考えられる。

Fig.II-3-4-3 に Th/Nb、U/Nb と Pd の関係図を示す。Paranapanema-Ribeira が Mg#70.5~54.1 まで分化している (Fig.II-3-3-6) にもかかわらず、Th/Nb および U/Nb はほとんど変化しない。従って Th/Nb、U/Nb はマグマの分別結晶作用ではほとんど変化せず、その増大は Th および U に富んだ物質、すなわち大陸地殻上部の花崗岩質物質の混染作用を示していると考えられる。低 Ti タイプの Gramago、Esmeralda の Th/Nb、U/Nb が共に広い範囲を有しており、これらのタイプがさまざまな程度に花崗岩質物質を混染しているものと考えられる。特に Gramado の Th/Nb、U/Nb が高い範囲でばらついており、大陸地殻上部物質の影響の最も大きいマグマといえそうである。このタイプのマグマで不混和硫化物メルトの分離が示唆されていることは興味深い。

最も高い Pt、Pd 含有量を有する Paranapanema-Ribeira に関しては、現在のところ地殻物質の混染と不混和硫化物メルト分離の痕跡は見出されていない。このタイプのマグマは Pt、Pd 含有量からは最も正マグマ性硫化物鉱床を生成し得るポテンシャルを有している。このマグマが鉱床を生成するためには、さらに地殻物質混染による不混和硫化物メルトの生成とマグマの活動中心における大量の珪酸塩マグマとの反応が必要になる。今後は、Paranapanema-Ribeira を初めとする各溶岩タイプの活動中心を捕捉し、そこで地殻物質の混染作用と硫化物の分離が認められるかどうか調査することが重要である。そのためには、既存ボーリング、例えば PETROBRAS が実施した石油ボーリングを利用したパラナベズン深部の調査が必要である。

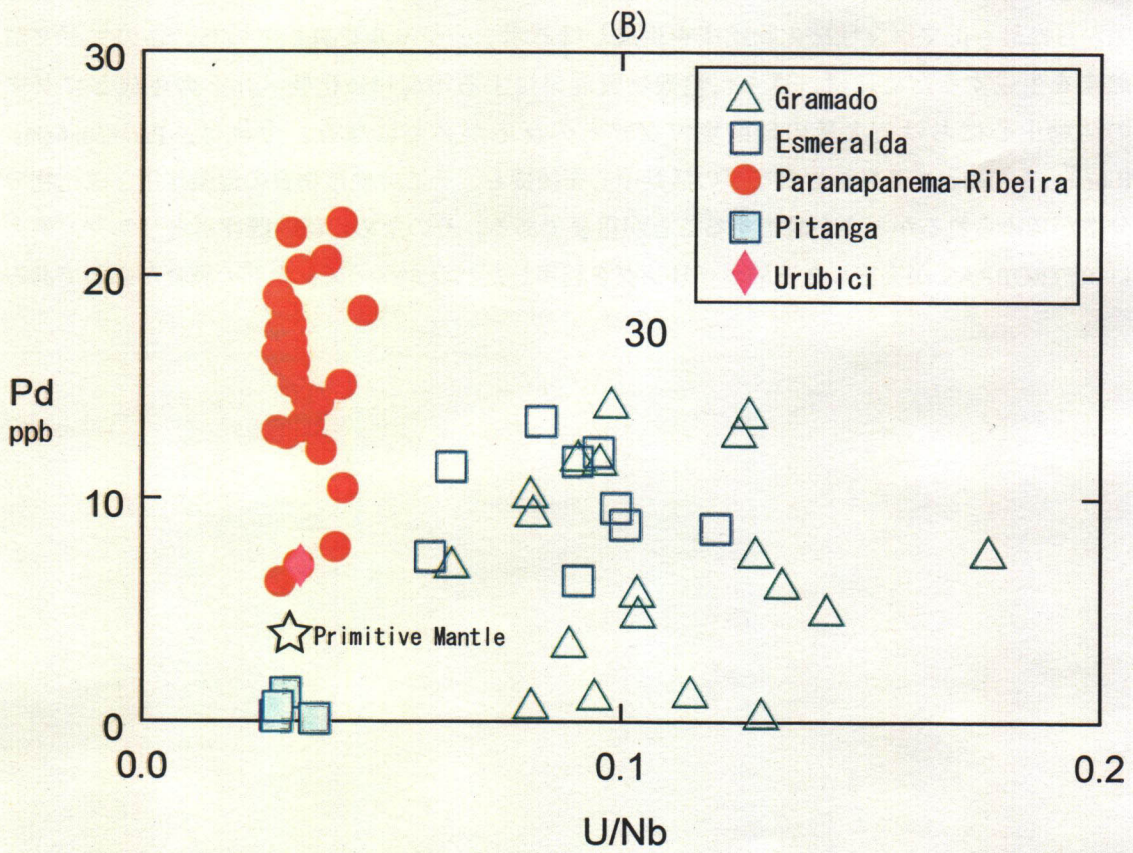
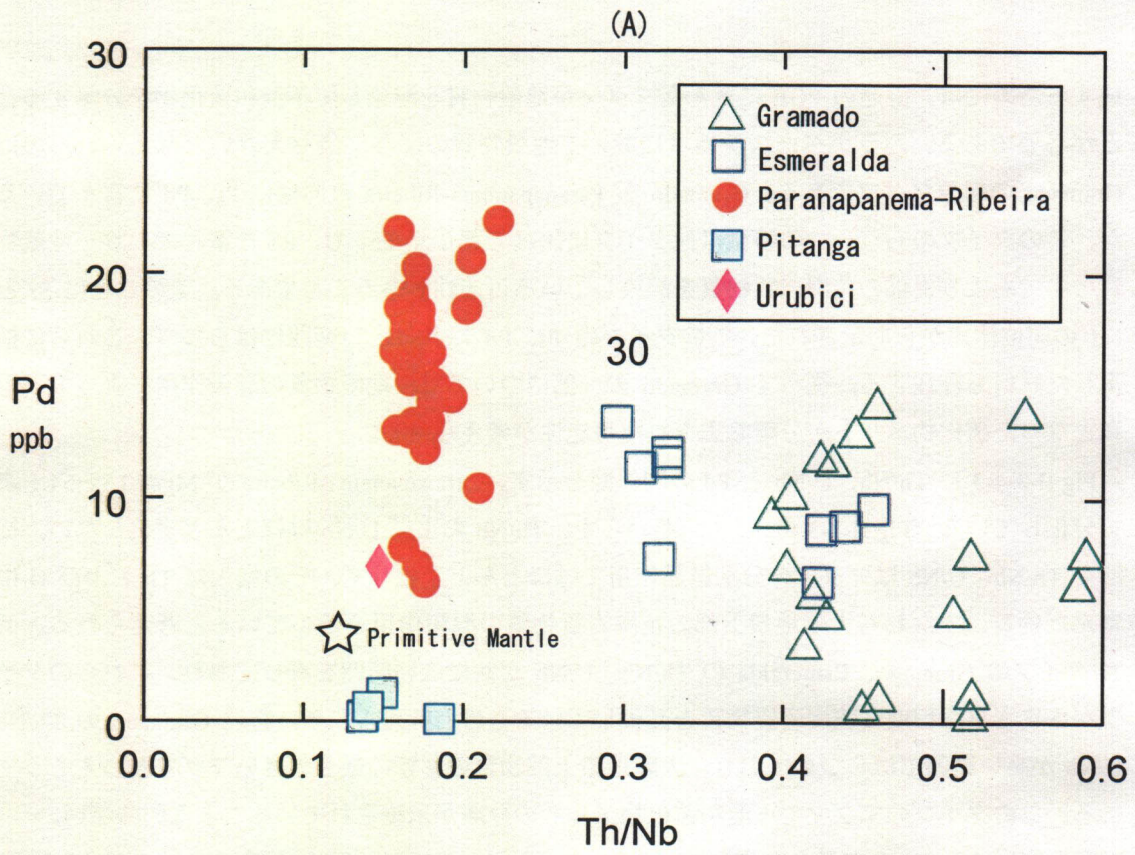


Fig. II-3-4-3 Th/Nb-Pd (A) and U/Nb-Pd (B) correlations in lavas

3-5 MINEROPAR による河川堆積物地化学異常の考察

3-5-1 MINEROPAR による沢砂地化学探査について

1994~1998 年の間、Paraná 州鉱山公社 (MINEROPAR) は IPARDES、IAPAER、EMATER および CPRM と共同で Paraná 州における多元素地化学探査予察プロジェクトを実施した。地化学探査は河川水および河川堆積物を対象に行われた。

調査範囲は約 170,000 km² で、Paraná 州の面積の 85% を占め、試料採取密度は 26km²/個から 238 km²/個、平均 225 km²/個、採取試料数は 696 個 (696 水系) であった。次に 40 水系に統合した混合試料を採取し、UNESCO/IUGS の世界基準である Global Geochemical Reference Network に準拠して分析を行った。

この結果、Paraná 州南西部において 40,000 km² におよぶパラナベーズンの洪水玄武岩活動に関連したとみられる河川堆積物中の Cu、Zn、Co、Ni、V、Ti、Cr、MgO、Pt、Pd の高異常と SiO₂、Ba、Be、Sn、W の低異常を見出した。すなわちパラナ州南西部の Capanema から Mambore に至る地域に NE-SW 系の方向性を有するクロム、ニッケル、銅、チタン、バナジウム、プラチナ、パラジウムから構成される成分の高異常帯を確認した (Fig.II-3-5-1)。これは塩基性~超塩基性岩の存在を示唆し、その中にプラチナやパラジウムのような PGE の濃集部が存在する可能性があるとの結論が導かれた。この地化学探査の結果をもとに、MINEROPAR は野外チェックを行い、玄武岩中にこれまで記載がない斑れい岩 16 箇所 (厚さ数 cm~80cm) を見出した。これらの斑れい岩には PGE 含有量が Pd: 46-48 ppb、Pt: 15-20 ppb と高い値を示すものも存在した。

3-5-2 地化学異常の要因

塩基性~超塩基性岩の存在を示す NE-SW 方向の地化学異常は、Milani (1997) による基盤中の NE-SW 方向の地塁と地溝の連続地形と一致している (Fig.II-3-5-2)。これに着目し、Licht (2000) は基盤の NE-SW 方向の構造と地化学異常の関係について考察した。

今回の調査によってパラナベーズン洪水玄武岩類の 5 タイプそれぞれの地化学的特徴が明らかになった。この中で Transitional タイプに分類された Paranapanema-Ribeira は比較的未分化で、また Ni、Cu、Pt、Pd 等に富むという特徴を有している。この Paranapanema-Ribeira は Fig.II-3-3-1 に示されるように Paraná 州の西部において NE-SW 方向に伸びて分布しており、その分布形態は MINEROPAR の地化学異常図 (Fig.II-3-5-1) と非常に良く一致している。また、Paranapanema-Ribeira を囲んで洪水玄武岩を覆う堆積岩、Pitanga といった Paranapanema-Ribeira に比べて Ni、Cu、Pt、Pd に乏しい岩石が分布している。

従って、塩基性~超塩基性岩の存在を示唆した MINEROPAR の地化学異常は周囲の岩石に比べてこれらの元素に富んでいる Paranapanema-Ribeira の分布そのものを示している可能性が考えられる。また Paraná 州最南部から北に延びる弱い高異常域は、地質図との対比が

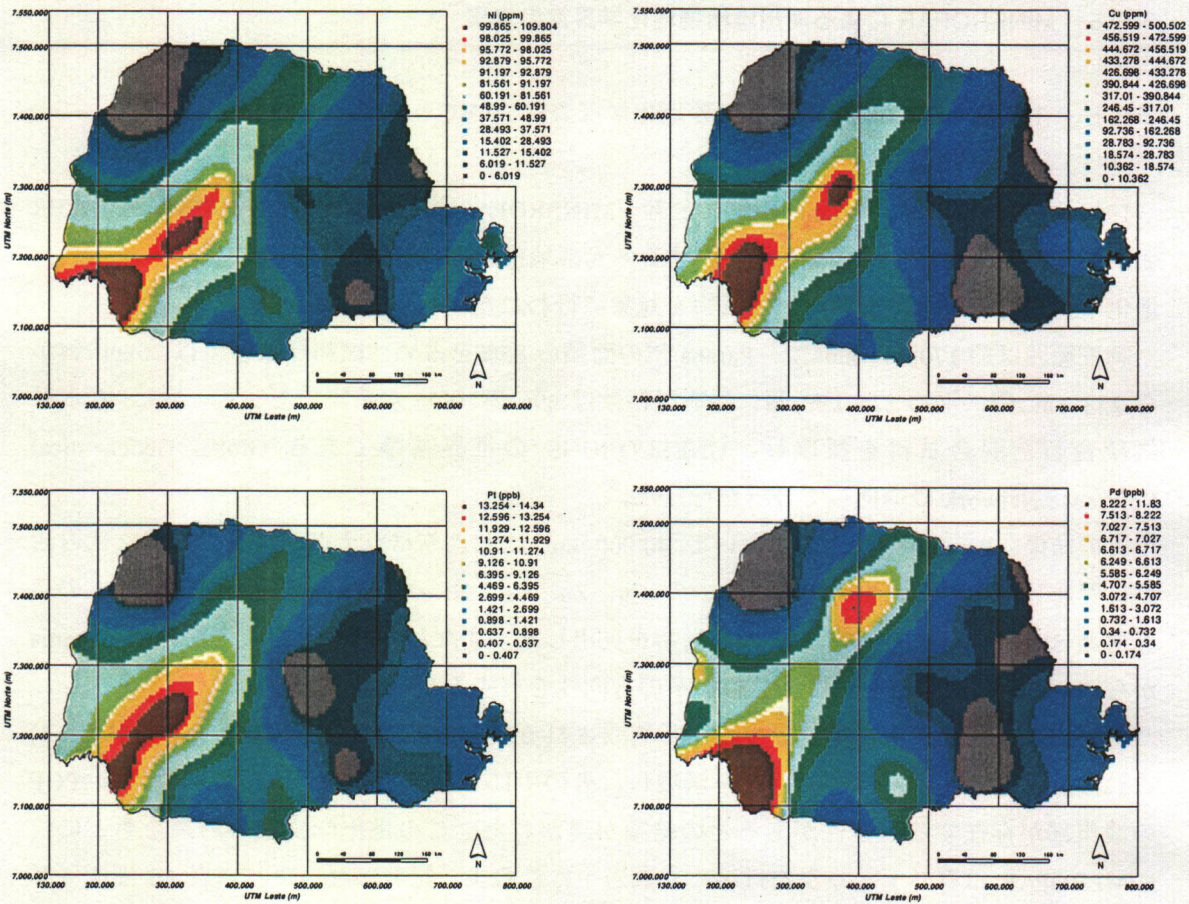


Fig. II-3-5-1 Stream sediment geochemical maps of Ni, Cu, Pt and Pd by MINEROPAR (Licht, 2000)

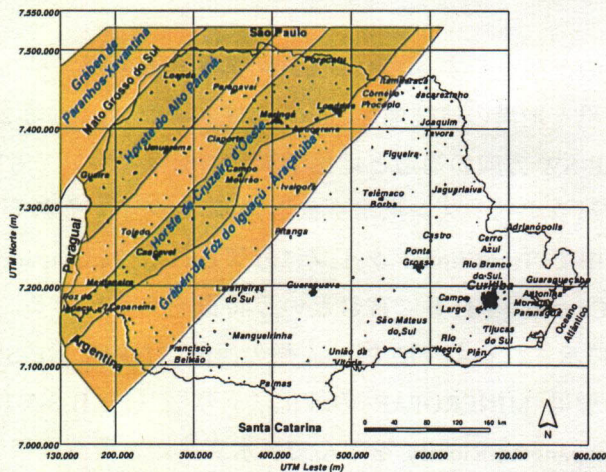


Fig. II-3-5-2 NE-SW trending horst and graben structure by Milani (1997) (Licht, 2000)

ら堆積岩中分布域に張り出した低 Ti タイプの玄武岩 (Gramado または Esmeralda) の分布を示している可能性が考えられる。以上より MINEROPAR による沢砂地化学探査の結果は、表層地質を敏感に反映していると考えられる。

Fig.II-3-5-3~Fig.II-3-5-6 に本調査で採取した洪水玄武岩の Ni、Cu、Pt、Pd の濃度分布を示す。Paraná 州を含む Paranapanema-Ribeira の分布域に属する試料が高い Pt、Pd、Cu を示しており、既存地質図との対応は良好である。しかし、Ni については Paranapanema-Ribeiraga が他タイプより僅かに高い値を示しているだけなので、このようなパターンはみられない。

また、Paraná 州についてみれば、MINEROPAR の地化学異常図にみられる異常帯中央部に向かってより高異常を示すような傾向 (Fig.II-3-5-1) は、岩石試料では認められない。

Paranapanema-Ribeira の分布が基盤構造に規制されているものかどうかは明らかではない。ただ地壘と地溝の連続地形は引張応力による断裂系の存在を示唆するものであり、Paranapanema-Ribeira のフィーダーとして働いた可能性は考えられる。

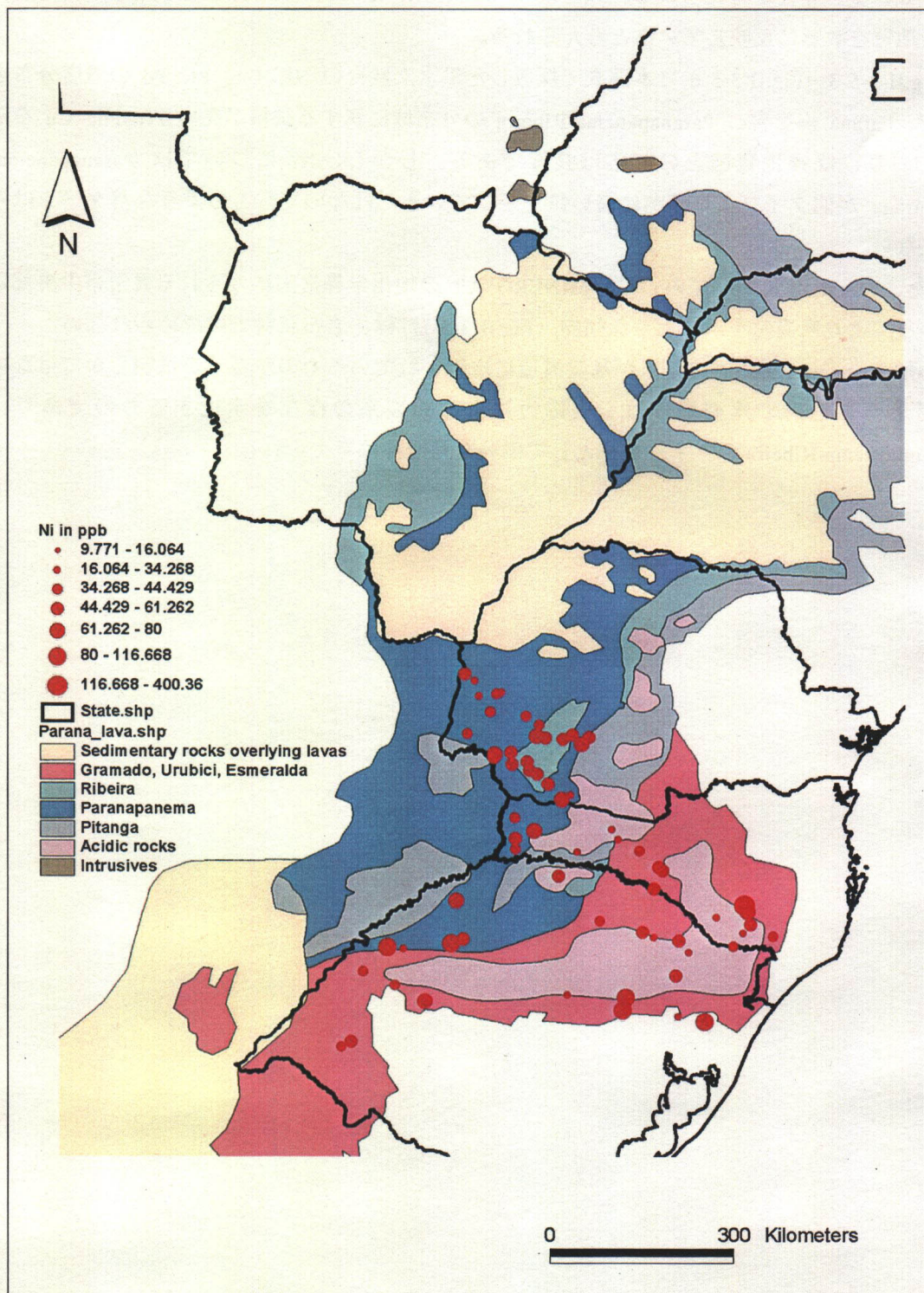


Fig. II-3-5-3 Distribution map of Ni content in lavas

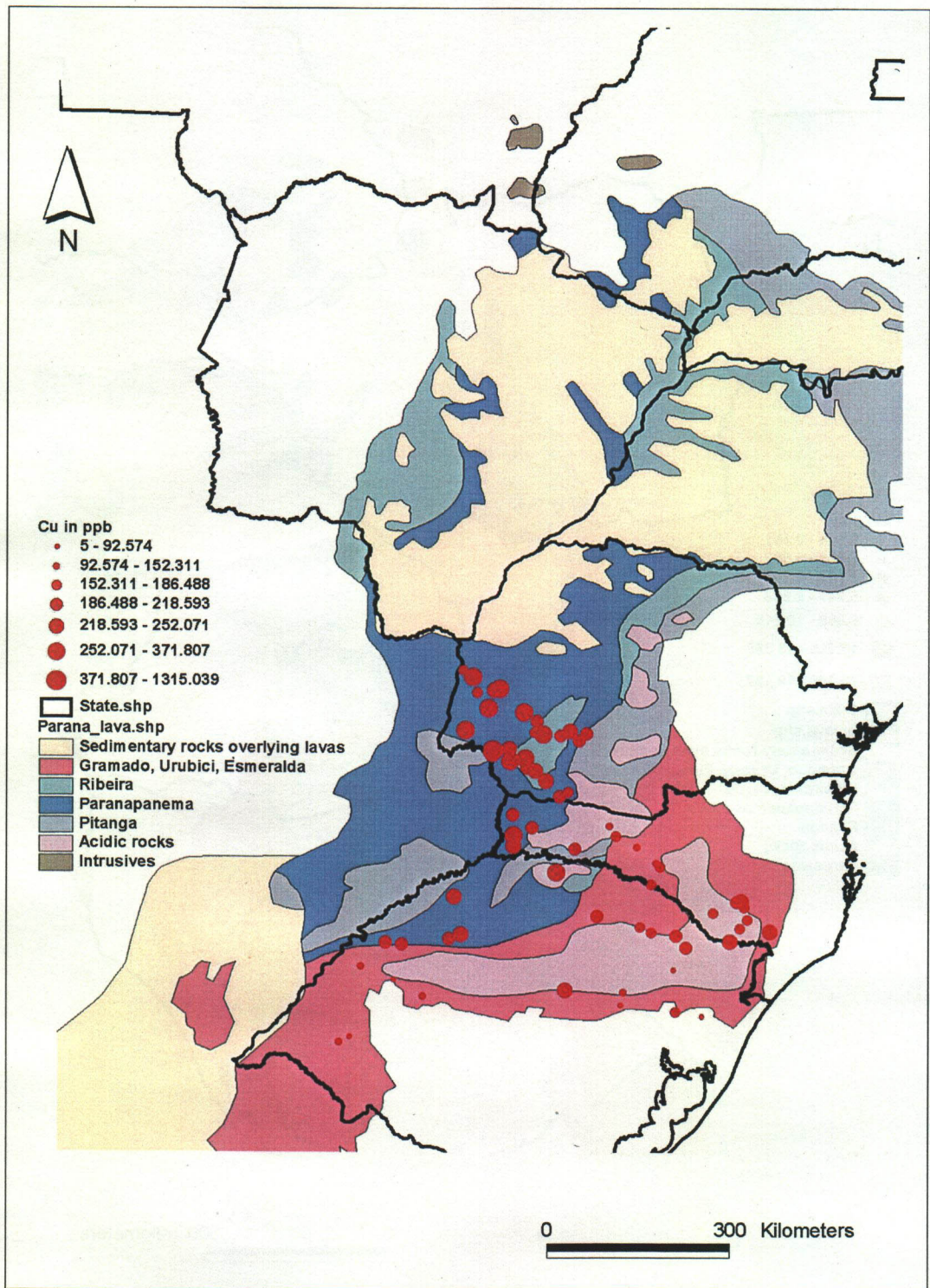


Fig. II-3-5-4 Distribution map of Cu content in lavas

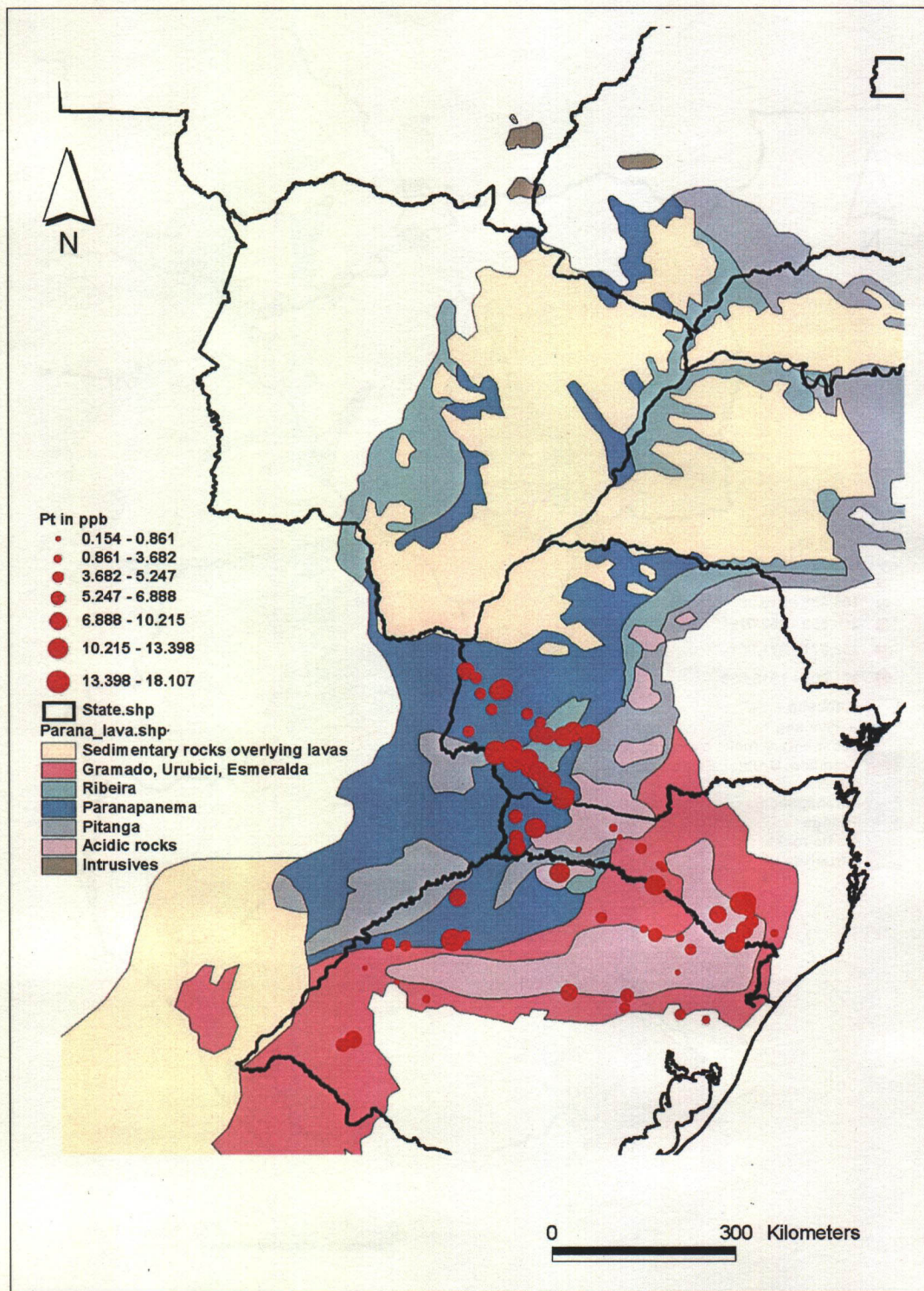


Fig. II-3-5-5 Distribution map of Pt content in lavas

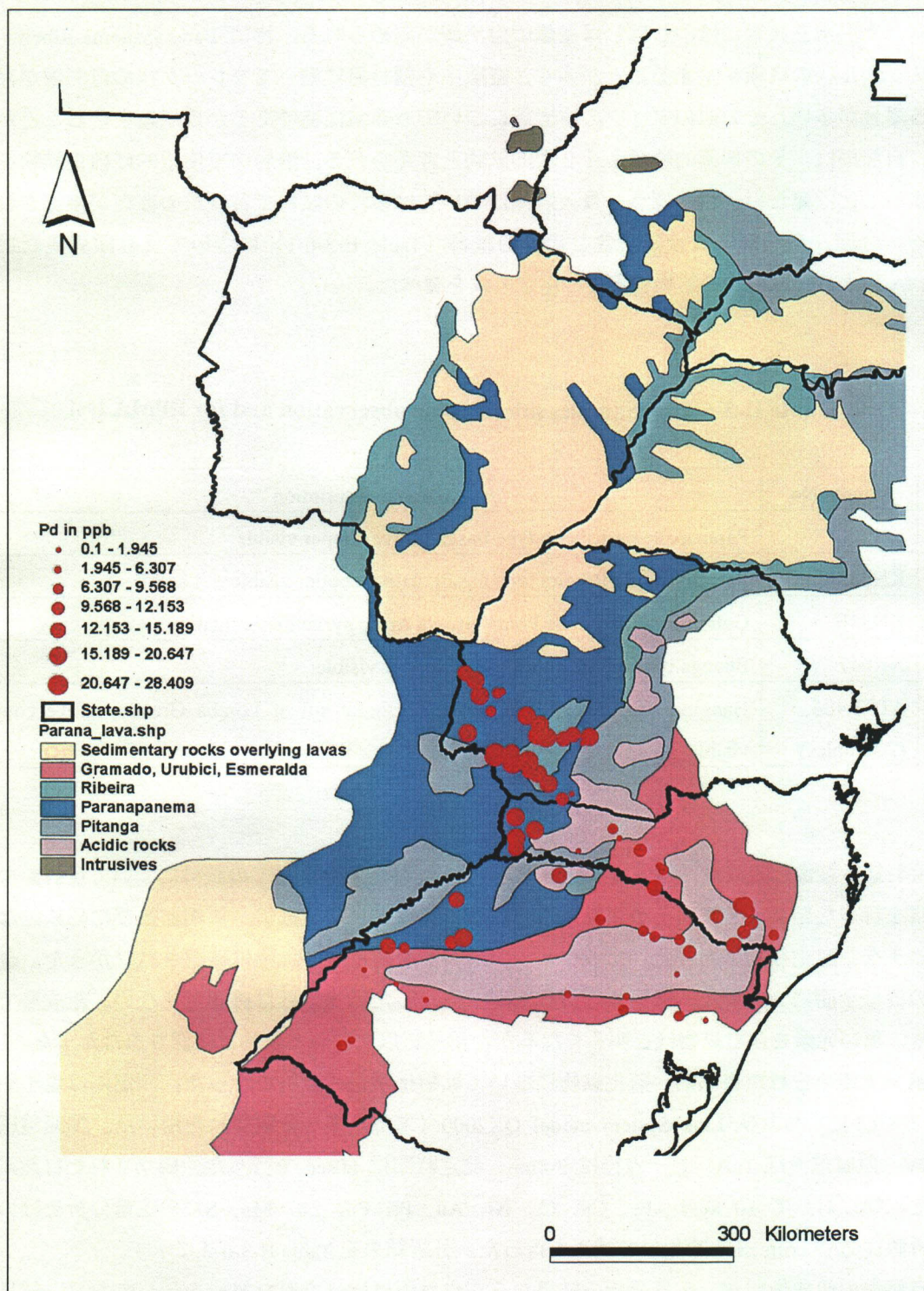


Fig. II-3-5-6 Distribution map of Pd content in lavas