

第3章 地質調査

3-1 地質概要

パラナベーズンの概略地質図を Fig.II-3-1-1 に、模式柱状図を Fig.II-3-1-2 に示す。

3-1-1 パラナベーズンの地質概略

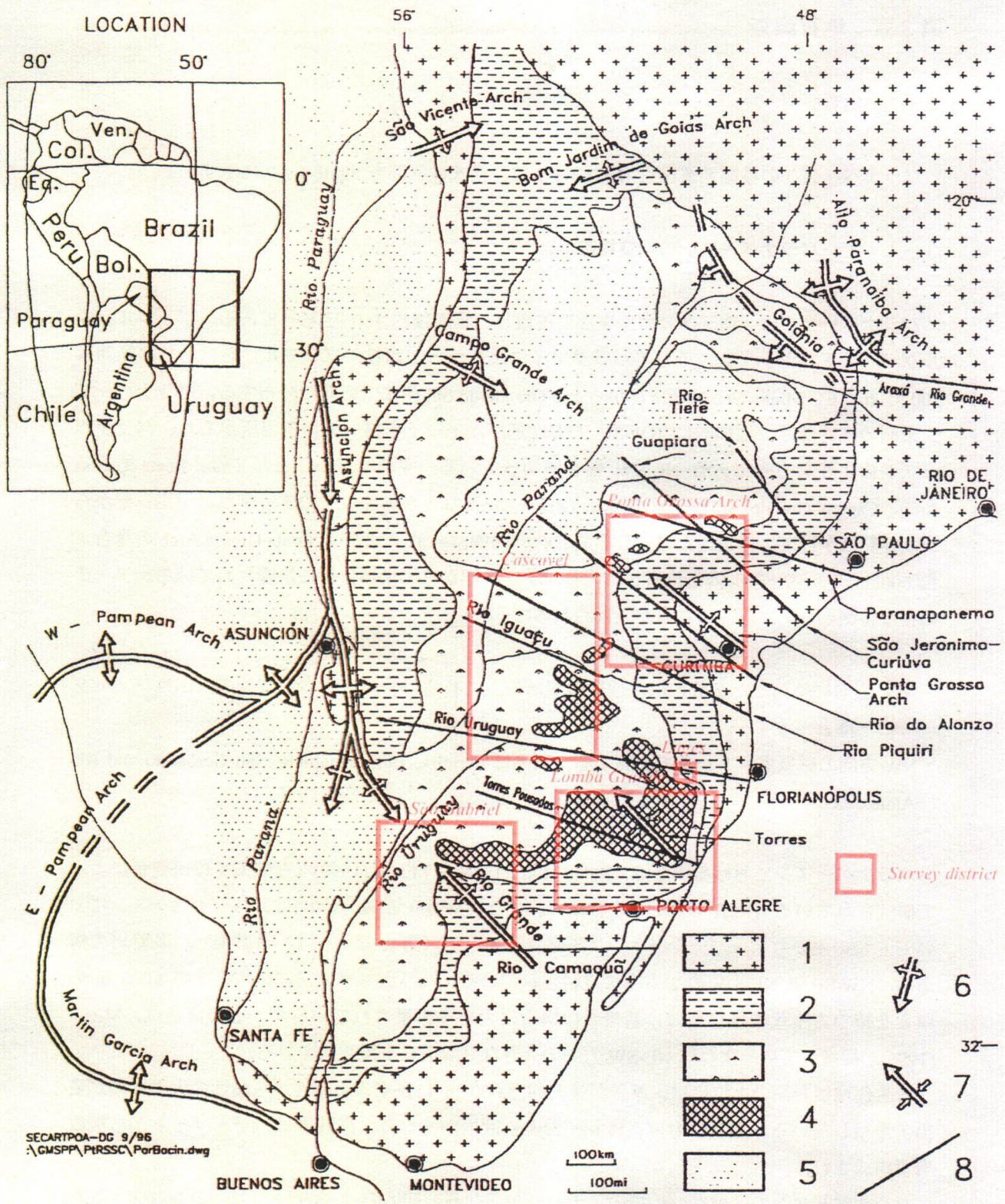
パラナベーズンは、南アメリカ南東部に位置し、総面積約 160 万 km² である。ブラジル、ウルグアイ、アルゼンチン、そしてパラグアイにまたがっており、ブラジルにおける分布範囲は、100 万 km² で、Minas Geiras 州南部から Rio Grande do Sul 州まで南北に分布する。パラナベーズン東側の境界部は、地形的に NW-SE 方向に延びたアーチを描いている場所があり、パラナベーズンの主要な方向である NE-SW 軸を横切っている。主要なアーチとしては、Ponta Grossa Arch、Campo Grande Arch、そして Rio Grande Arch などがある。このアーチは、デボン紀からジュラ紀にかけて、構造運動により形成され (Fúlfaro et al., 1982)、Ponta Grossa Arch の場合、幅 600km で、ベーズン内に位置しており、デボン紀からの堆積作用に影響されている。アーチの主な特徴として、下記のことが上げられる。

- NW 方向に整列した多数の塩基性岩脈がある。これらは、パラナベーズンの火山性フィーターの一部と一致する。
- NW 方向の磁気異常トレンドを有する (例えば Ferreira, 1983: Guapiara, São Gerônimo and Rio Alonzo など)。

パラナベーズンにおける構造は、Zalan et al. (1986) や Milani (1998) などの多くの研究者によって研究されている (第 II 章 1-4 を参照)。また、Milani et al. (1997) は、パラナベーズンにおいて 6 つの主要なスーパーシーケンスを確立している (第 II 章 1-4-3 参照)。基盤岩の構造は、NW-SE と NE-SW の 2 方向に規制されている。パラナベーズンにおける平均 2,000 m の厚さを持つ古生代堆積作用は、基盤岩の構造に大きく影響されているが、その構造は、Milani (1998) が提案しているように NE-SW 方向の大きなリフトに支配されている。

古生代堆積岩類の上位には、厚さが最大約 3,000 m に達する塩基性から酸性の火山岩類が噴出・堆積している。塩基性岩は、斑レイ岩と玄武岩からなり、酸性岩は、デイサイトから流紋岩で構成される。

パラナベーズンの発達は、4 つのステージからなる。初めの 2 ステージは、シンフォームベーズンが沈降する中で 2 回の構造・堆積サイクルからなり、後の 2 ステージは、パラナベーズンの上昇と膨大な量のソレイト質玄武岩溶岩の噴出、およびこれに関係した貫入岩からなる。パラナベーズンはクラトンの上で形成されたが、衝突ベルトと Foreland basin に囲まれ、プレート内の弱線に沿った構造的圧力の開放の影響で、強く沈降を加速している (Milani and Ramos,



- Generalized geological sketch map of Paraná Basin (Melfi et al, 1988)

- 1. Pre-Devonian crystalline basement;
- 2. Pre-volcanic sediments (mainly Paleozoic);
- 3. Basic to intermediate flood volcanics (Serra Geral Formation: Lower Cretaceous);
- 4. Acid stratoid lava flows (Serra Geral Formation);
- 5. Post-volcanic sediments (mainly Upper Cretaceous);
- 6. Arch-type structure;
- 7. Syncline-type structure;
- 8. Tectonic and/or magnetic lineament.

Fig. II-3-1-1 Generalized geological sketch map of Paraná basin (Melfi et al, 1988)

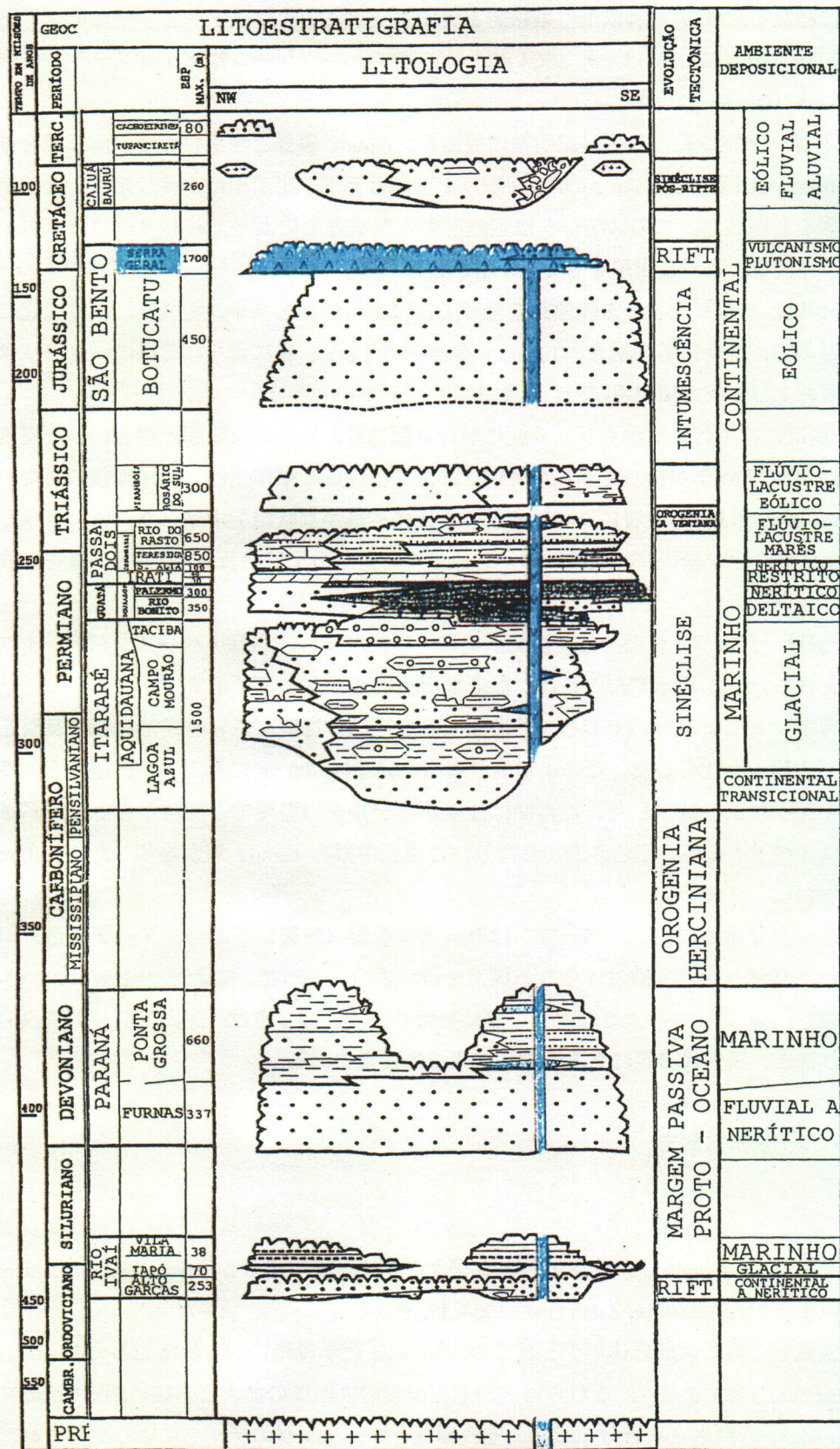


Figure 2 - Sequence-stratigraphic chart for the Paraná Basin (simplified from Milani et al., 1994).

Fig. II-3-1-2 Sequence-stratigraphic chart for the Paraná basin (simplified from Milani et al., 1974)

1998)。全体にわたる沈降の50%以上は堆積岩と火山岩によるアイソスタティックな荷重である。例えば、Ponta Grossa Arch は上昇していないが、そのヒンジゾーンはアイソスタシーの影響で沈降している (Oliviera, 1989)。

第1ステージは、デボン紀から石炭紀前期に展開し、Paraná 層群と呼ばれる厚い海成層を作った。Ponta Grossa Arch と Asuncion Arch はシルル紀後期とデボン紀前期に上昇し始め、堆積作用の過程に影響を及ぼした。このステージは造陸運動と断層運動によって終わり、パラナベズンの重要な不連続を現す浸食作用をもたらすものとなった。

第2ステージは、激しくなった造陸運動を伴って石炭紀前期からペルム紀後期にかけて起こった。堆積作用の間、造陸運動は続き、Tubarão 層群中の Itararé 層に見られる様に、氷河気候のもとでの海成および陸成堆積作用が行われた。

第3ステージは、古生代後期からジュラ紀にかけて起こり、全体的な隆起と引き続いた浸食を伴い、NW-SE 系のアーチが最も上昇した時期にあたる。陸成堆積作用は、河川堆積の性格を持ち、Pirambóia 層と呼ばれる地層に見られるような比較的静かな状況で堆積した。南アメリカ大陸では、次第に砂漠化が進行し、風成砂岩から成りベズンの全域に及ぶ Botucatu 層を形成した。

第4ステージは、ジュラ紀後期から白亜紀前期にかけて展開し、パラナベズンがアンチフォーム構造に転換したことを示す。これは、顕著な引張構造とソレアイト質マグマ作用をもたらしたホットスポットによるものである。砂漠気候の進行は、古い玄武岩溶岩と頻繁に互層をなす Botucatu 砂岩層をもたらした。この構造的な展開・発達には 700 m に及ぶ、垂直運動を伴う最後のリフティングにより終了した。この間は沖積からデルタの環境で、細粒から中粒、パイモダルでクロスベットを伴う赤色砂岩からなり、白亜紀中期の Caiura 層が堆積した (Fulfaró and Barcelos, 1993)。

このテクトニックな活動により、ベズンは直線的な断裂 (断層、断層帯、アーチ構造) が十字字に交差したパターンで特徴付けられる構造を持つようになった。これらの断裂は、N45-65°W, N50-70E, E-W の3つの大きなグループに分けられる。前2者は、先カンブリア時代の基盤岩から受け継ぎ、顕生代の間にも再活動した構造的要素である。

3-1-2 パラナ洪水玄武岩

(1) 溶岩

Paraná 洪水玄武岩は、Gondwana III スーパーシーケンスの一部であり、Serra Geral Volcanism と命名されている (Almeida, 1964; Zalán et al., 1988; Fig.II-3-1-2)。

Paraná 洪水玄武岩と同じ火成岩体がナミビアの Etendeka に小規模に残されている (Erlank et al., 1984; Bellieni et al., 1984 など)。これらは、白亜紀前期の大西洋の拡大と密接に関連する。

Paraná と Etendeka の洪水玄武岩分布域は、地表調査とボーリングのデータにより把握されている。両者の分布は、非常に非対称である。パラナ洪水玄武岩は、 $1.2 \times 10^6 \text{ km}^2$ の分布面積を示し Etendeka の約 15 倍の規模を有する。また、パラナ洪水玄武岩は、体積が $8 \times 10^5 \text{ km}^3$ と計算

されており、平均の厚さは 660 m である (Leinz, 1949; Leinz et al., 1966)。これは、削剥された分を計算に入れていない。Etendeka の分布面積は 78,000km²、最大の厚さは 900 m (Tafelberg field) である (Erlank et al., 1984)。これは、両者を合わせた内の約 4%未満に相当する。

溶岩の厚さは、全般的なパラナベーズンの構造を反映しており、溶岩が最も厚いのは、最もベーズンが深い北部である。ここでは、溶岩の厚さは 1 km を超え、中心に向かってさらに厚くなる。例えば São Paulo 州西部の Pontal of Paranapanema では、溶岩の厚さは 1,500 m を超える (1-CB-2-SP ボーリングのデータから)。さらに、堆積岩中の貫入岩類まで計算に入れると 1,700 m を超える (PAULIPETRO, 1982; Zalán et al., 1988)。ちなみにこのエリアの堆積岩類は、層厚 6,500 m である。

1 枚の溶岩流は、数 m から数 100 m といわれているが、約 50 m 程度と考えられている。ただし、実際の露頭では、10~20 m である (Pacca and Ernesto, 1982; Bellieni et al., 1983; Montes-Luar et al., 1987; Ernesto and Pacca, 1988)。

パラナ洪水玄武岩類は、ソレライト質玄武岩が全体の約 90%を占め、その他にソレライト質安山岩と酸性岩 (デイサイト~流紋岩) によって構成される。これらの岩石タイプは、斑れい岩、アルカリ玄武岩、ソレライト質玄武岩、安山岩質玄武岩、安山岩、デイサイト、ハワイアイト質流紋岩、および粗面岩質玄武岩である。酸性岩は、溶岩全体の約 4%にあたり、厚さ最大 400 m である。

パラナ洪水玄武岩の形成年代は、火山岩類について行われた K-Ar 法による年代測定では、160-100Ma とされている (Piccirillo, 1988; Melfi, 1988)。また、Ar-Ar 法による地表の試料およびボーリングコアからの溶岩の測定では、噴出年代は、137-126 Ma というデータが得られている (Turner et al., 1994)。

(2) シル

パラナ洪水玄武岩の活動に関連した貫入岩体の分布を Fig.II-3-1-3 に示す。

パラナ洪水玄武岩の活動に伴う厚さが 200m に達する各種のシルが古生代の堆積岩類 (特に Irati 層と Itararé 層群) に胚胎される (Zalan et al., 1986; Piccirillo, 1988)。Zalán (1986)によると、Itararé 層群と Irati 層群の堆積岩中に最大幅のシルが確認されている。同様に Botucatu 層の中にもシルは見つかっている。また、パラナ洪水玄武岩中にも確認されている (Melfi and Girargi, 1983; Marini et al., 1967; Davino et al., 1982)。これらのシルの厚さは、2~200 m で、お互いに切って貫入している (例えば、Piracicaba-Limeira シルなど)。確認されているエリアは、約 900km²である (Cordani and Vandroos, 1967)。

特に規模の大きいシルは、厚い溶岩が分布するパラナベーズン北側の中心部に認められる (Fig.II-3-1-3)。

シルは、溶岩と同様にソレライト質のものがほとんどであるが、Lomba Grande 地区にのみ、ピクライト質のシルが確認されている。

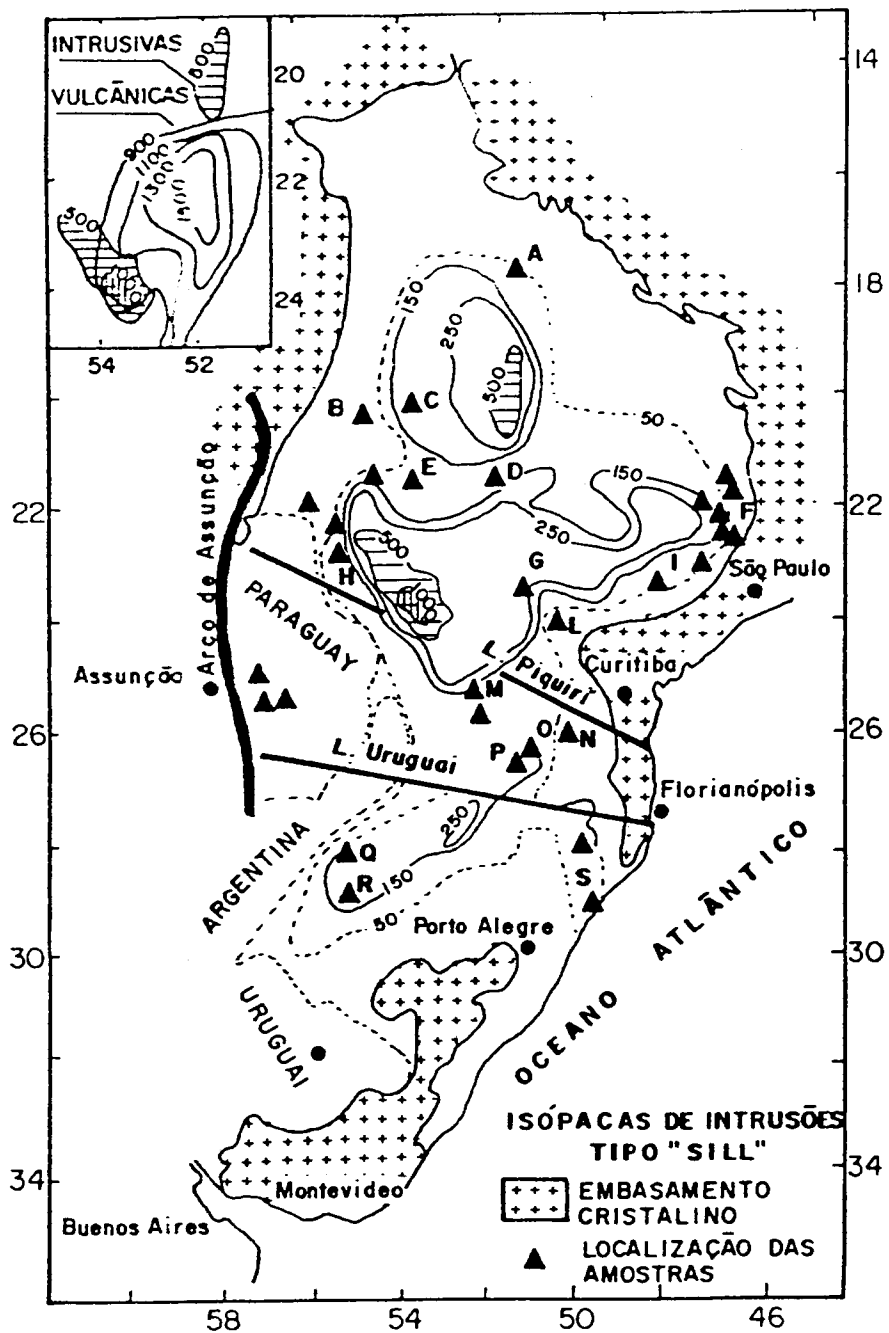


Figure 4 Isopachs of combined sill thicknesses within Paraná basin sediments (after Bellieni et al., 1984).

Fig. II-3-1-3 Isopachs of combined sill thicknesses with Paraná basin sediments (Bellieni et al, 1984)

(3) 岩脈

断裂構造の発達と火成活動により、Ponta Grossa Arch の堆積岩中には、集中して NW-SE 方向の岩脈が確認されている。岩脈の幅は数メートルから 500 m にわたり、延長は、数 km 以上に達するものがある。しかし、溶岩中では、岩脈は化学組成も鉱物組成も類似しているため、発見が困難である。

また、ブラジルの海岸には、平行な岩脈群が認められる（リオデジャネイロ周辺など）。

3-1-3 鉱徴・地化学異常

溶岩、シル、岩脈には、気孔や割目の充填物として、自然銅や黄鉄鉱を伴う。特に、シルや岩脈では顕著である。

パラナ洪水玄武岩分布域の地化学異常として、MINEROPAR の実施した沢砂地化学探査により、Paraná 州南西部には、Cu, Ni, Cr, Pt, Pd などの地化学異常の重複が認められた。

3-2 調査内容

3-2-1 試料採取

試料採取位置を Fig.II-3-2-1 に示す。また、サンプルリストを巻末資料に掲載する。

(1) 岩石試料の採取

調査の拠点となった Porto Alegre から北西方向にパラナベズンを横切るように、パラナ洪水玄武岩溶岩の産状観察と分析用試料の採取を行った。同様に Ponta Grossa Arch では貫入岩類の、São Gabriel では、溶岩の産状観察と分析試料の採取を行った。

また、Lages 地区では、Pt の鉱徴地において、鉱徴の確認と分析試料の採取を行った。

(2) DNPM と CPRM が実施した石炭探鉱ボーリングコアの採取

DNPM と CPRM は、パラナ洪水玄武岩の縁に沿う堆積岩分布域において石炭探鉱のためのボーリング調査を行っている。本調査では、ボーリング柱状図からシルの分布を把握するとともに、その中から主要なものについて、コアの採取を実施した。

(3) 沢砂・沢水試料採取

Lomba Grande のピクライト質玄武岩～斑れい岩のシルが確認されているエリアにおいて沢砂と沢水の採取を実施した。同様に São Gabriel のアーチ部において沢砂の採取を実施した。採取した沢砂は、Porto Alegre の CPRM 支所において-80 mesh に整えられ、分析に供された。

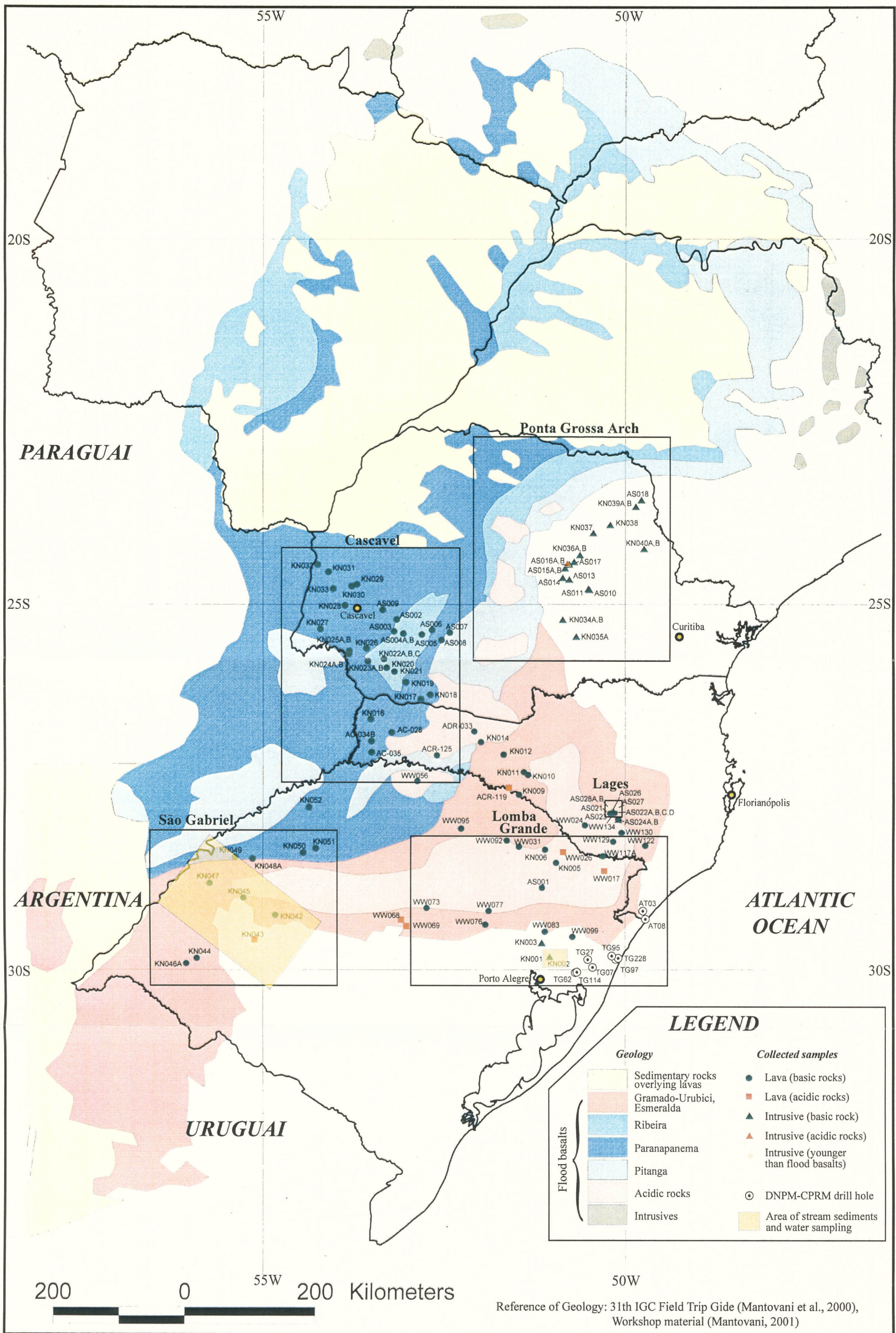


Fig. II-3-2-1 Distribution of collected samples and Paraná flood basalts