

岩を伴う砂岩層からなる。Palermo 層はシルト岩、砂岩からなる。

Gondwana 大陸南西縁辺部では次第に圧縮応力が強く働くようになり、そこでは Asuncion arch の上昇が起こり、二畳紀後期-三畳紀前期には大陸内部のベースンはほとんど海洋から隔離された。その後、大陸内部では、長く安定した広域的な砂漠化と浸食が進行した。Irati 層上部の Assitencia 部層はピトリナイト質な黒色頁岩とマール・石灰岩からなる。これらは数 10 cm の厚さでリズムカルに互層をなす。いくつかの浅い限られたベースンでは Assitencia 層は厚さ数 10 cm のエバポライト層を伴う。ベースン中部の沈下は長く続いたが、二畳紀後期-三畳紀前期になると、沈下速度は徐々に減少した。これは外部応力による横ズレ運動が生じたためと考えられている。

(4) Gondwana II スーパーシーケンス

Gondwana 大陸の南縁部では三畳紀中-後期、Cape-La Ventana 造山運動が起こった。この造山運動により、古い基盤岩のリニアメントに沿って局所的な隆起と横ズレ断層運動が生じた。この時期、Gondwana 大陸南西部ではパルス的な拡張応力場が生じ、グラバーベンが形成された。パラナベースンの一部ではこの応力場に関連して、三畳紀中後期、堆積作用が進行した。Gondwana II スーパーシーケンスは Santa Maria 層からなる (Fig.II-1-4-12)。Santa Maria 層は細-中粒の白色砂岩、局所的に礫岩からなる。一部で赤色頁岩、シルト岩、カルクリート、石膏層を伴う。これらは河成-湖成堆積物である。沈下速度は Gondwana 大陸内部が安定していたため、遅かった。

(5) Gondwana III スーパーシーケンス

Gondwana III スーパーシーケンスの下部は、砂漠性の細-中粒のコーツァイト質砂岩からなり、Botocau 層と呼ばれる (Fig.II-1-4-13)。Botocau 層を覆ってまたは挟在して、パラナ洪水玄武岩溶岩がパラナベースン全体に分布する。パラナ洪水玄武岩のマグマ活動は白亜紀前期のベースン最大の拡張応力場により、膨大な量の溶岩および貫入岩を生じ、2,000 m 近くの洪水玄武岩溶岩が堆積した (Fig.II-1-4-13)。ベースンの沈下速度はパラナ洪水玄武岩のマグマ活動により、最も早かった。沈下により正断層が生じ、

(6) Bauru スーパーシーケンス

パラナベースンの Bauru スーパーシーケンスは、白亜紀中-後期、洪水玄武岩溶岩層の重量により暁曲が起こり、ベースンが沈下し堆積した。Bauru スーパーシーケンスはいろいろな種類の礫を含む砂質礫岩層からなる (Fig.II-1-4-14)。現在、Bauru スーパーシーケンスはパラナベースンの中-北部に分布する。その堆積中心は Gondwana III スーパーシーケンスの堆積中心と同じ位置である。ベースンの発達史は Bauru 層の堆積で終結した。

1-4-4 地球物理学的データからみた基盤構造

重力測定による地球内部の研究はアイソスタシー理論を基礎に発展している。M.C.L.Quintas

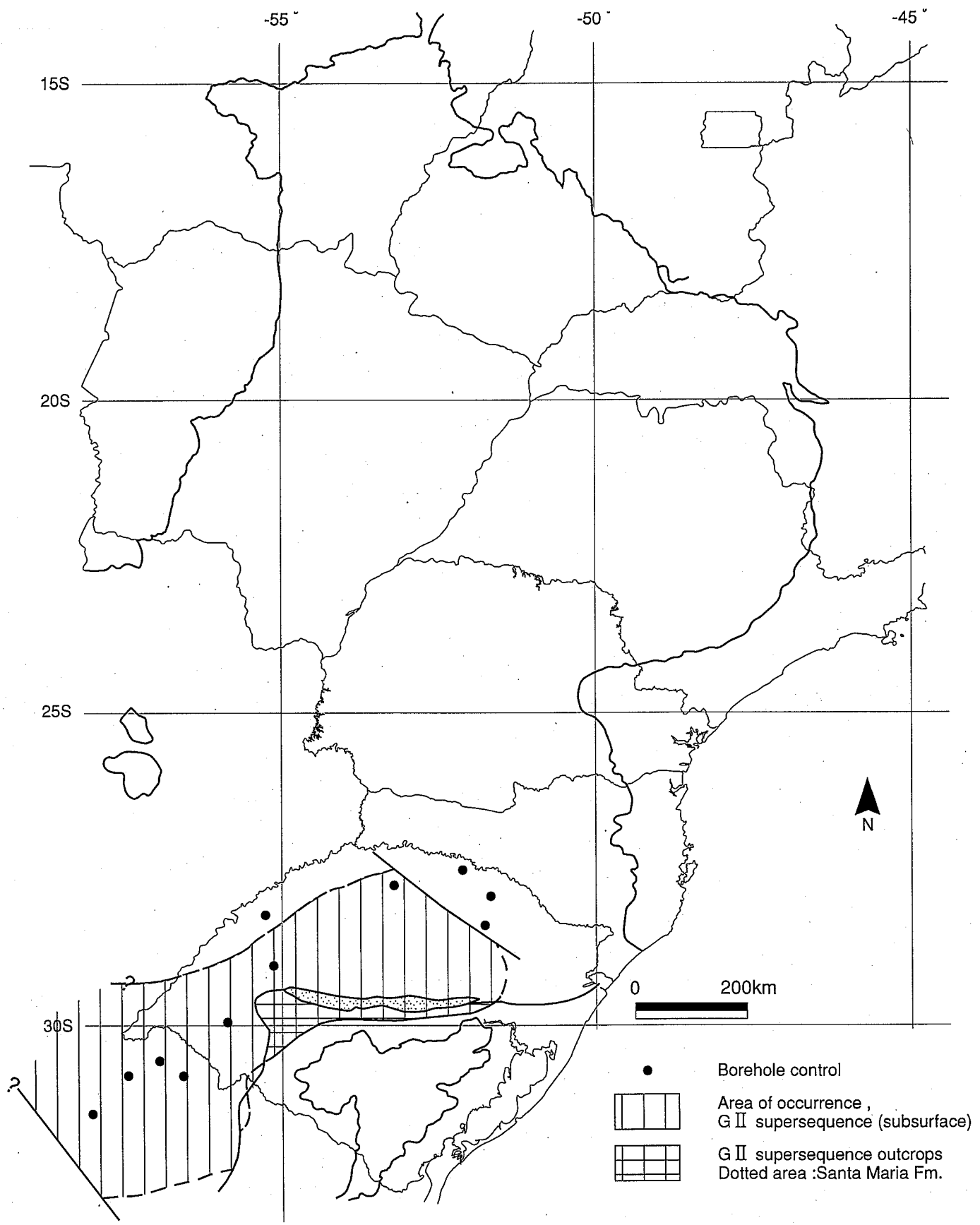


Fig. II-1-4-12 Occurrence of the Gondwana II supersequence (E.J. Milani et al., 1998)

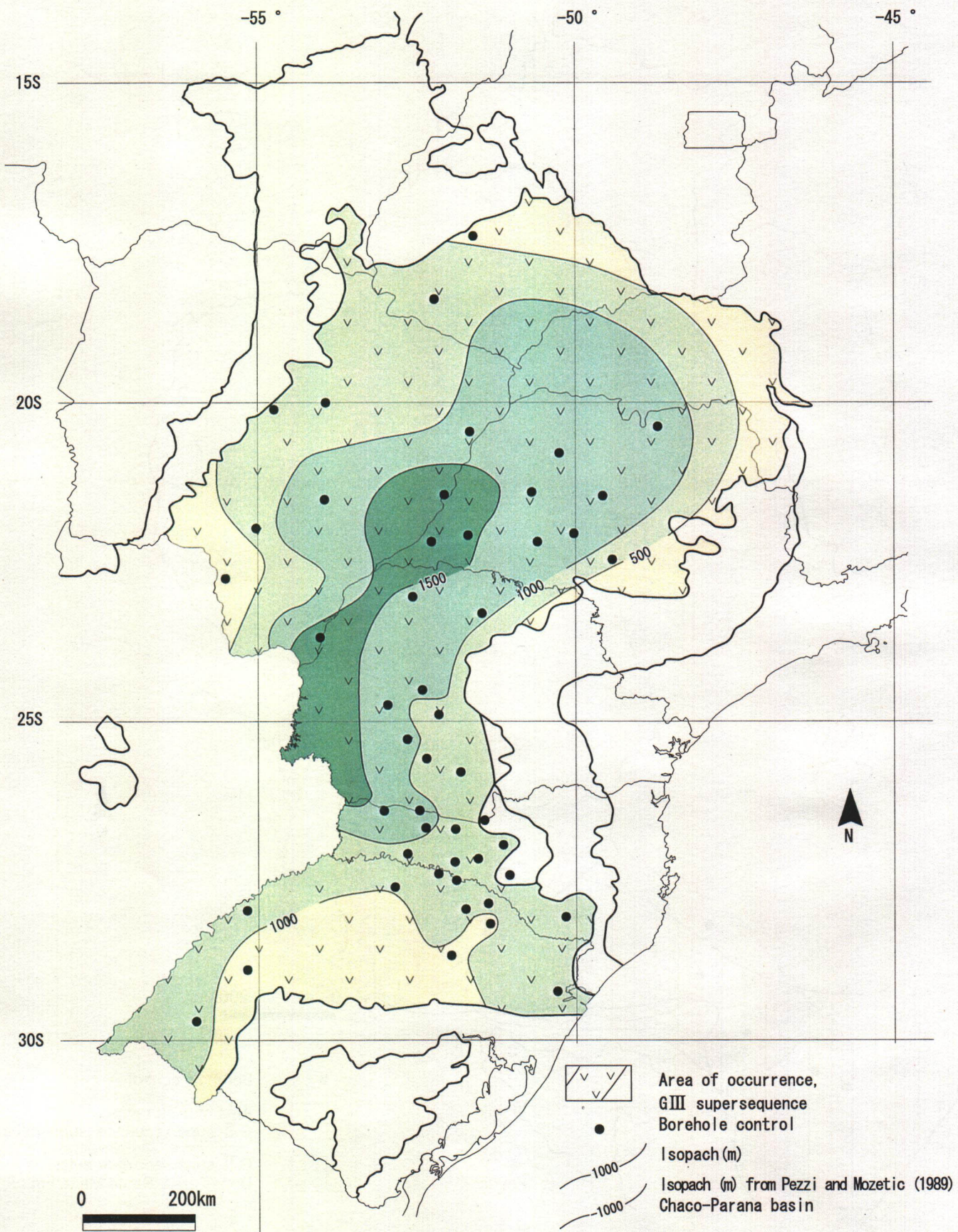


Fig. II-1-4-13 Isopach map of the Gondwana III supersequence sediments + volcanics (E.J. Milani et al., 1998)

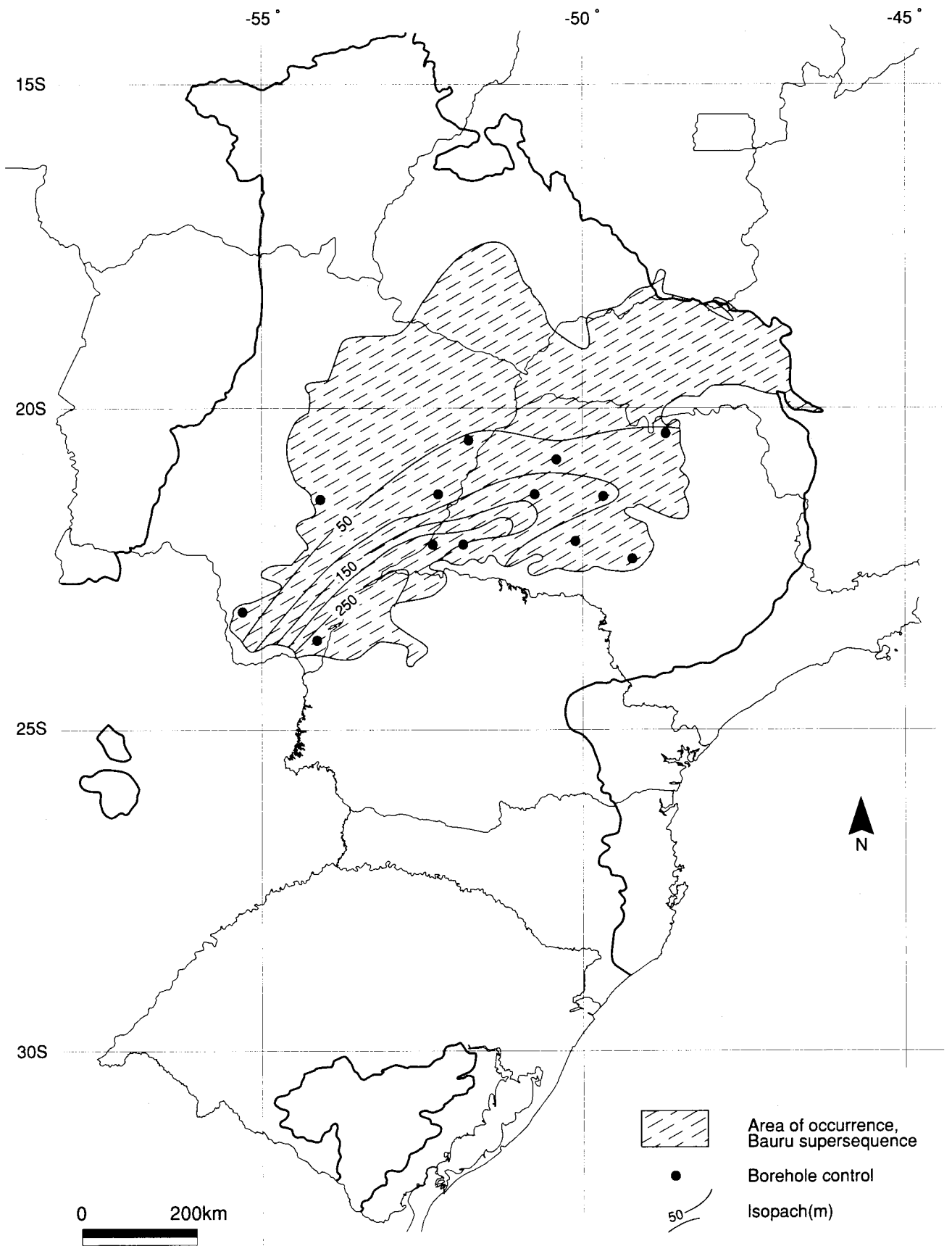


Fig. II-1-4-14 Isopach map of the Bauru supersequence (E.J. Milani et al., 1998)

(1995)は、重力データによるアイソスタシーモデルおよび石油探査ボーリングデータによる熱力学モデルを用いて、パラナベーズンの基盤岩の構造を研究した。

(1) クラトン内部ベーズンの成因

クラトン内部ベーズン (Intracratonic basin) は、地球内部の熱力学的作用によるベーズンの沈降運動がその成因であるとする説が現在、最も有力である (Bott, 1971; MaKenzie et al., 1978)。Bott (1981)によると、クラトン内部ベーズンの成因には能動的メカニズム (プルーム上昇) と受動的メカニズム (拡張応力) がある (Fig.II-1-4-15)。

能動的メカニズムの場合、(1) リソスフェアはプルームの上昇、加熱により暁曲し、表層に膨張性応力場が生じ、正断層が形成される。(2) 拡張軸部が浸食され、リソスフェアが薄くなる。(3) リソスフェアの冷却により薄くなった部分が沈降し、クラトン内部ベーズンができる。受動的メカニズムの場合、(1) 水平方向の拡張応力場によりリソスフェアが薄くなり、アセノスフェアが上昇する。(2) リソスフェアの下方暁曲、正断層・地溝を形成する。(3) 拡張応力場の継続により、アセノスフェアの上昇があり、沈降はさらに進む。

世界にはいくつかのクラトン内部ベーズンが知られている (Table II-1-4-1)。これらのベーズンは Chad ベーズンを除いて、Gondwana 大陸の分裂以前に堆積が始まる、沈降に先駆けてリフトの形成があるなどの多くの共通点を有しており、地球規模の成因により系統的に形成されたものと推定される。

Table II-1-4-1 Intracratonic basin in the world

| Basin | Locality | Thickness (m) | Initiation (Ma) | Duration (Ma) |
|-----------|-----------|---------------|-----------------|---------------|
| Paraná | S.America | 6,000 m | 450 Ma | 300 Ma |
| Illinois | N.America | 6,000 m | 510 Ma | 300 Ma |
| Williston | N.America | 3,700 m | 500 Ma | 310 Ma |
| Michigan | N.America | 4,500 m | 520 Ma | 220 Ma |
| Parnaiba | S.America | 4,000 m | 500 Ma | 300 Ma |
| Chad | Africa | develop | 30 Ma | Develop |

(2) データの解析方法

データの処理方法は次の独立した2つの方法が使用された。(1) 石油探査ボーリング81本の地質データを使った、熱力学モデルによる応力解析 (β または ϵ : extension / attenuation factor)。熱力学モデルは、膨張性応力場理論による McKenzie (1978)モデルと Royden & Keen (1980)モデルが使用された。(2) パラナベーズンの各地層の層厚データを使った、アイソスタシーモデルによる重力解析。重力、地震およびボーリングのデータが使用された。

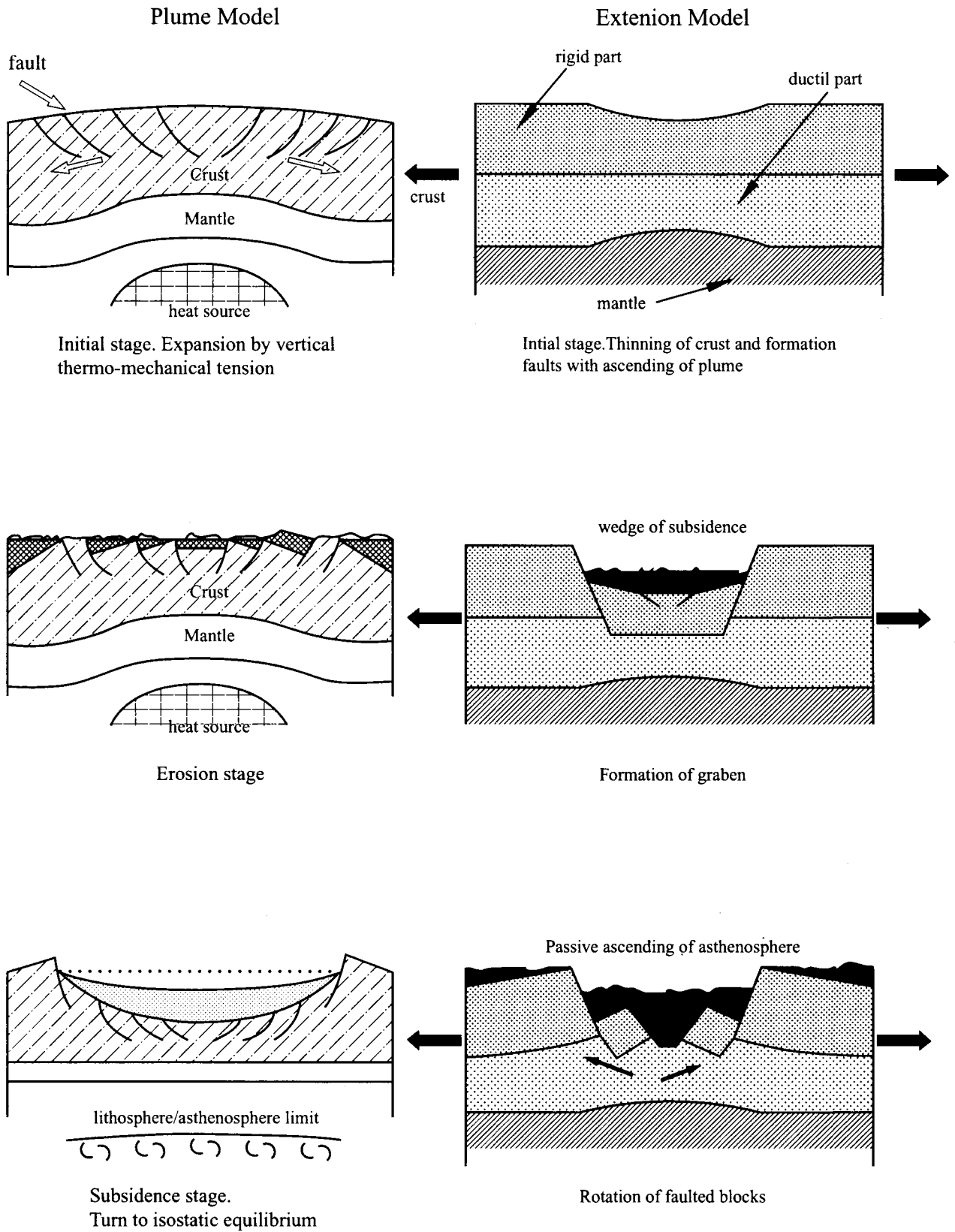


Fig. II-1-4-15 Genetic models of the intracratonic basin (Bott, 1981)

a) 熱力学モデル

アセノスフェアでマグマが発生すると、大陸性リソスフェアは瞬間的 ($t=0$) に β だけ縮む (Fig.II-1-4-16)。マグマがリソスフェアに侵入すると、リソスフェアの密度は上昇し、リソスフェアは瞬間的にアイソスタシーにより沈下する。その結果、リソスフェア上部 (地殻) はリフティングを起こし、地溝帯が形成される。地溝帯の初期的沈下 S_i はリソスフェアの破壊的動きによる沈下 (S_{rigid}) とリソスフェアの延性的な動きによる沈下 S_{ductil} の合計になる。初期的沈下 S_i は次の式によって与えられる。

$$S_i = \frac{[(\rho_m - \rho_c)t_c(1 - \frac{t_c \alpha T_m}{2a}) - \frac{a \alpha T_m \rho_m}{2}](1 - \frac{1}{\beta})}{[\rho_m(1 - \alpha T_m) - \rho_w]} \quad (5)$$

t_c = 大陸性リソスフェアの当初の厚さ、 α = 熱拡張係数、 ρ_m = マントルの密度、

ρ_w = 水の密度、 a = リソスフェアの厚さ、 T_m = リソスフェア基部の温度、

ρ_c = リソスフェアの密度、 β = 収縮率

ベースンの初期的沈下後、リソスフェアは次第に冷却、収縮し、熱的沈下 (撓曲的沈下) を起こす。熱伝導の方程式を使って熱的沈下 S_t を計算することができる。

$$S_t = e(0) - e(t) \quad (6)$$

$$e(t) = E_o \left(\frac{\beta}{\pi} \sin \frac{\pi}{\beta} \right) \exp \frac{t}{\tau} \quad E_o = \frac{(4at_m \rho_m \alpha)}{\pi^2 (\rho_m - \rho_w)} \quad (7)$$

リソスフェアの総沈下量 S_{total} は、初期的沈下 S_i と熱的沈下 S_t の合計となる。

$$S_{total} = S_i + S_t \quad (8)$$

以上が McKengie (1978) のモデルである。このモデルはリソスフェアが瞬間的に縮む (t は 20 Ma 未満) 場合を前提にしているが、実際のリフトではマグマの冷却期間が約 50 Ma 以上続くとみられ、沈下量の計算に誤差がでる。Royden & Keen (1980) はマグマの冷却による熱的沈下量はマッケンジエーのモデルより小さくなると予測し、リソスフェアの収縮率をその上部 δ と下部 β に分けて、収縮率 ε および総沈下量 S_{total} を計算した (Fig.II-1-4-17)。

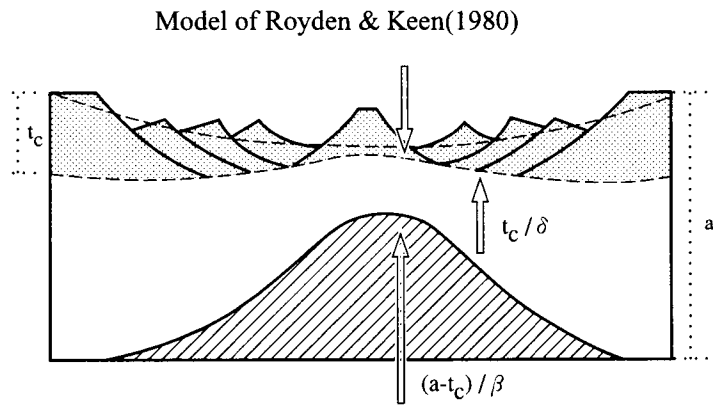
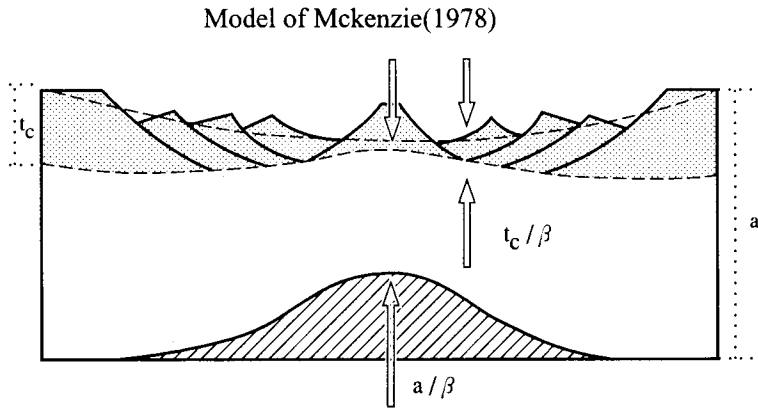


Fig. II-1-4-16 Thermomechanical model for formation of intracratonic basin

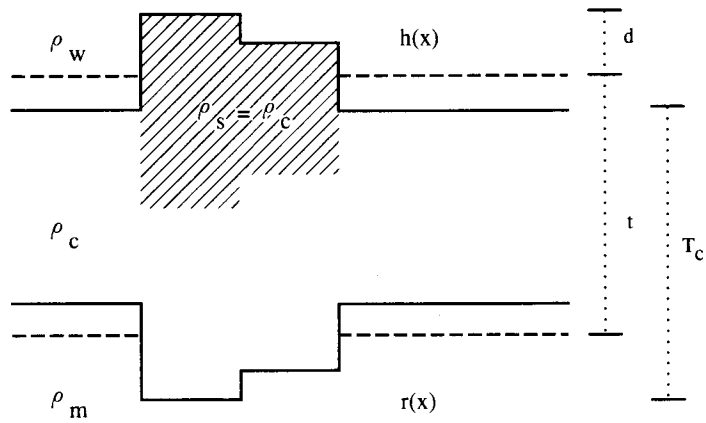


Fig. II-1-4-17 Isostatic model of Airy (Karner, 1982)

$$\varepsilon = \frac{a}{\frac{t_c}{\delta} + (a - t_c) \beta} \quad (9)$$

b) バックストリッピング法

ベースンの歴史を通じての堆積層の厚さを計算するには、バックストリッピング (Back stripping) と称する手法を利用する必要がある。バックストリッピングとは、対象年代よりも若い堆積層を剥ぎ取り、対象堆積層が圧密から解放され、自然な深さに上昇できるようにする方法である。時代別に堆積層の厚さを計算すると、その堆積層による基盤の沈下量が計算できる。Sclater & Christie (1980)によると、堆積物の荷重の影響を補正しながら、実際の基盤の深さ Y は次の式で計算できる。

$$Y = S \left(\frac{\rho_m - \bar{\rho}_s}{\rho_m - \rho_w} \right) \quad (10)$$

ρ_w = 水の密度、 ρ_s = 堆積物の平均密度、 ρ_m = マントルの密度

S = 堆積物の観測された総層厚

c) アイソスタシー補正

通常のブーゲー異常補正は局所的な地形の影響の除去には効力を持つが、広域的な地形の影響の除去には十分ではない。例えば、延長 10 km といった小さな山の場合、リソスフェアは撓むことなく山を支えることができる。しかし延長 1,000 km の山系の場合、リソスフェアは下方に撓むことになり、アイソスタシー補正が必要になる。

Barrel (1914a)によると、剛性のリソスフェアが延性のアセノスフェア上で暁曲することにより、リソスフェア重量の調整が行われる。リソスフェアの密度はアセノスフェアの密度より軽いので、大きな山系による質量は低密度の「根」の深さで補正されることになる。ブーゲー補正においては負の「根」が考慮に入れないので、山系でのブーゲー異常は大きな負となる。この負の異常はアイソスタシー異常と呼ばれ、アイソスタシー補正により除去できる (Fig.II-1-4-17)。

Karner (1982)と Karner & Watts (1982)によると、アイソスタシーに起因する重力異常のフーリエ変換 $GT(k)$ は次の式で計算できる。

$$G_T(k) = 2\pi\gamma \Delta \rho_1 H(k) \exp^{-kd} \left[1 - \frac{\Delta \rho_2 R(k) \exp^{-kt}}{\Delta \rho_1 H(k)} \right] \quad (11)$$

$H(k)$ = 地形表面による重力異常 $h(x)$ のフーリエ変換、

$R(k)$ = 地形の根による重力異常 $R(x)$ のフーリエ変換、

$\Delta \rho_1$ = 地形表面の密度差、 $\Delta \rho_2$ = 地形の根の密度差、

d = 平均高度、 t = 平均地形表面と地形の根間の距離、

γ = 重力定数、 k = 波数 ($2\pi/\lambda$)、 λ = 波長

(3) データ

DEPEX-PETROBRAS 社の石油探査ボーリングデータおよび IAG/USP、IBGE、ON、CPRM & UFPR などの研究所の重力データが使用された。1985 年までに PETROBRAS 社と PETROPAULI 社はそれぞれ 73 本、33 本のボーリングを実施した。M.C.L. Quintas (1995) はそのうちの 81 本を利用した。ボーリングの位置は、Fig.II-1-4-18 および Table II-1-4-2 に示される。重力計は La coste & Romberg-G 型が使用されたブーゲー異常は国際重力公式 (1967) および平均密度 2,670kg/m³ で補正された。地形補正はパラナ地域の地形が平坦であることから行われなかった。熱伝導率 (K) と間隙率 (ϕ) および減衰率 (c) は、IPT 報告書のデータが使用された。

(4) 解析結果

a) バックストリップング法による沈下曲線

堆積層の岩相を 5 種類 (砂岩、片岩、石灰岩、シルト岩および玄武岩) に分けて間隙率 (ϕ) および減衰率 (c) を設定し、(10) により基盤深度が計算された (Fig.II-1-4-19, Table II-1-4-3)。

ベースン形成の全期間を 440 Ma、地層の全層厚を約 6,000 m とすると、基盤の平均沈下率は 13.6 m/Ma となる。沈下曲線および地質データから、地層堆積期間は 414-401 Ma、367-296 Ma、248-238 Ma、213-188 Ma、65-0 Ma、合計 184Ma が推定できる。地層の浸食率を 10 % 程度と仮定すると、184 Ma で 600 m が浸食され、浸食率 3.3 m/Ma が得られる。従って、浸食補正後の基盤の平均沈下率は 16.9 m/Ma となる。

Palermo 層から Rio do Rasto 層までの時代 (248-238 Ma) は特に顕著な沈下が見られ、構造的沈下率と総沈下率は 49 m/Ma と 111 m/Ma である (Table II-1-4-4)。この大きな沈下 (堆積作用) はヘルシニアン造山運動後、汎世界的に起こった二畳紀-三畳紀のリフトベースンに共通する現象である。Serra Geral 層 (パラナ洪水玄武岩: ジュラ紀-白亜紀) の場合、構造的沈下率 (5 m/Ma) は総沈下率 (26 m/Ma) の約 20% 程度であり、他の堆積層に比べてその寄与率は低い。これは、密度の大きなパラナ洪水玄武岩の荷重が総沈下率に大きな影響を与えたためと考えられる。

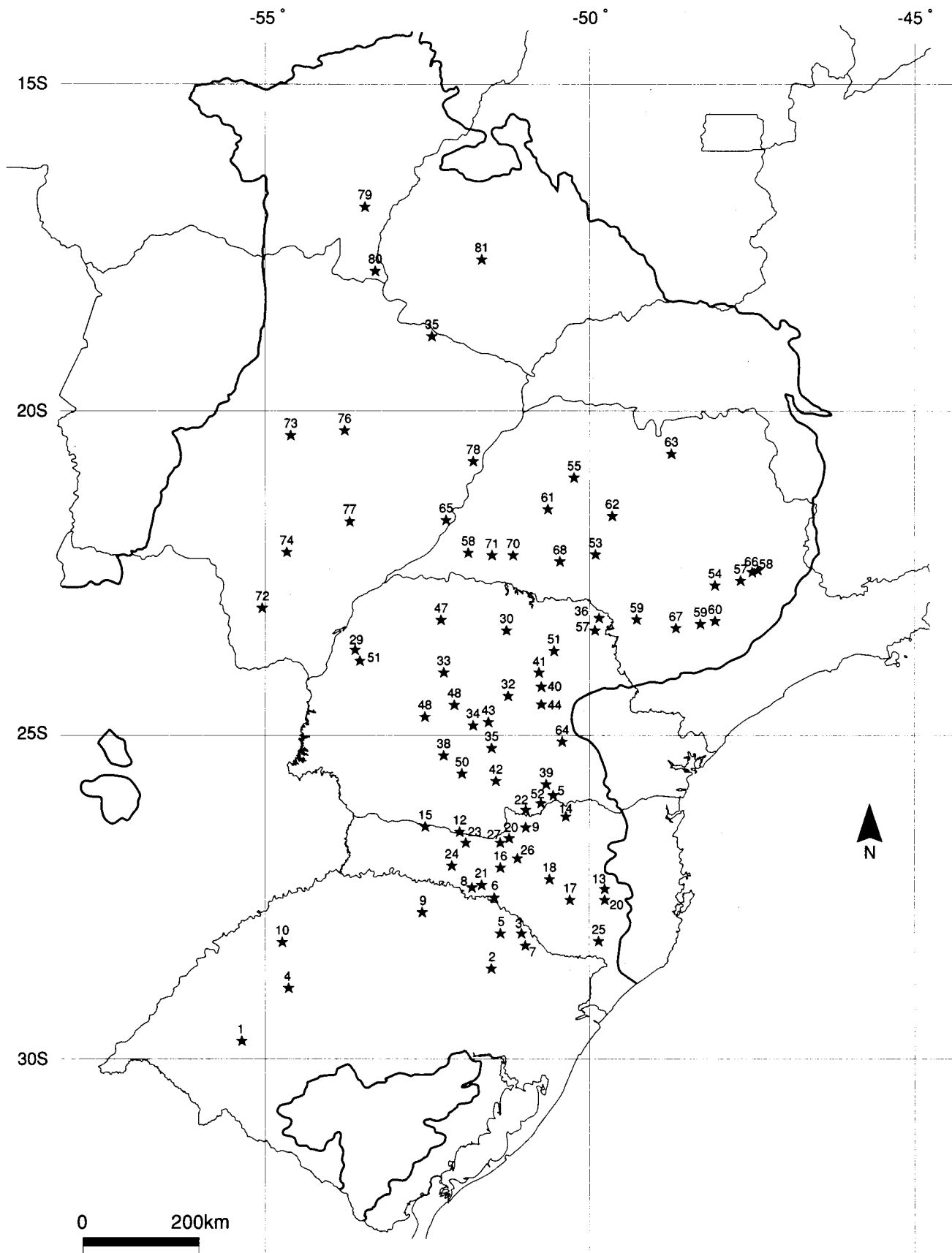
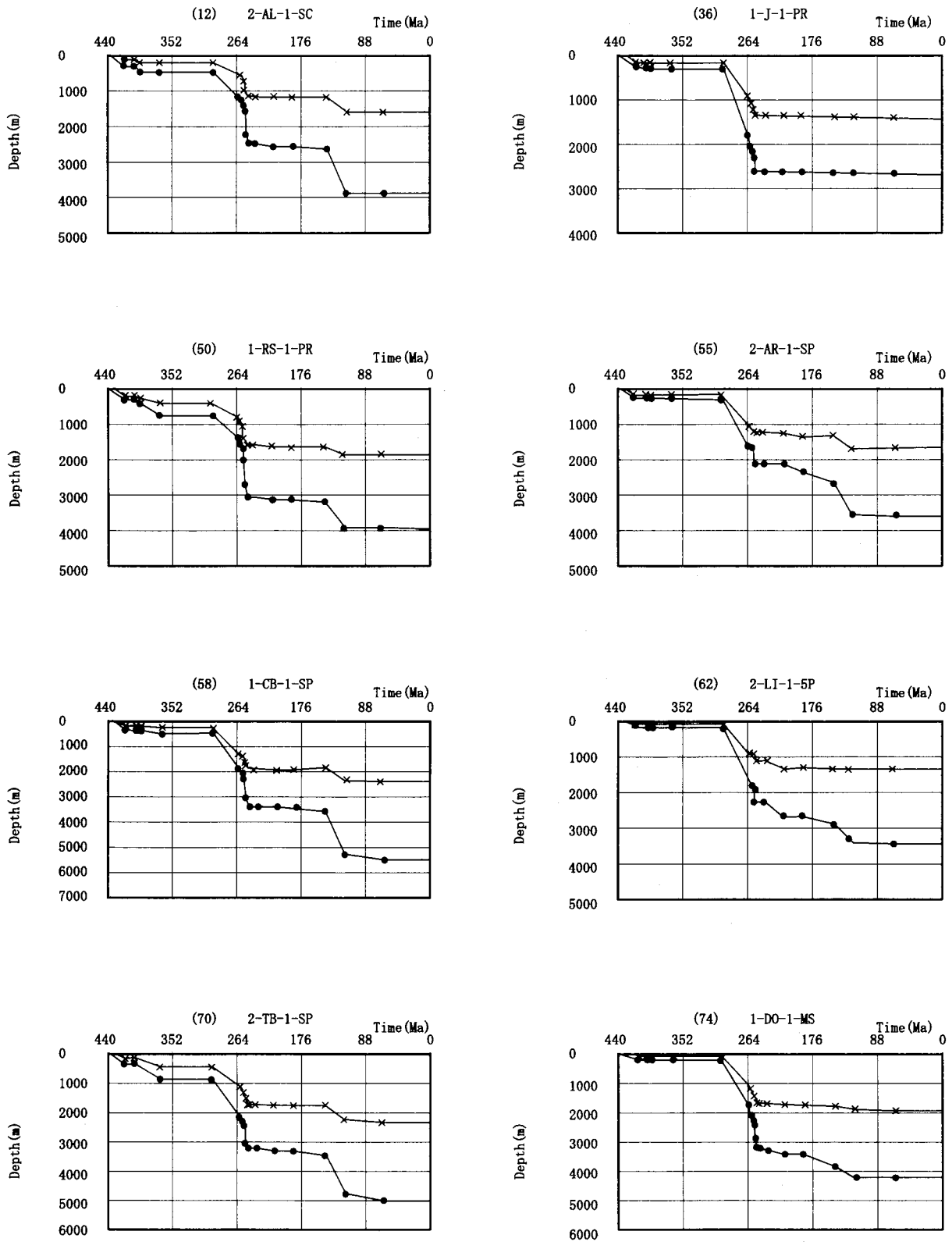


Fig. II-1-4-18 Locations of drilling holes used by M.C.L. Quintas (1995)

Table II-1-4-2 Locations of drilling holes (M.C.L. Quintas, 1995)

| Name | City | # | Prillory | LATITUDE (°) | LONGI TUDE (°) |
|--------------------|--------------------|----|----------|-------------------|---------------------|
| Alegrete | Alegrete | 1 | 2-AL-1 | -29,80216 | -55,76664 |
| Atanásio | Nova Prata | 2 | 2-AO-1 | -28,70143 | -51,66456 |
| Esmeralda | Esmeralda | 3 | 1-ES-1 | -28,17864 | -51,17861 |
| Itacurubi | Santiago | 4 | 2-IT-1 | -29,01666 | -54,99165 |
| Lagoa Vermelha | Lagoa Vermelha | 5 | 2-LV-1 | -28,16354 | -51,50276 |
| Machadinho | Machadinho | 6 | 1-MA-1 | -27,58679 | -51,66314 |
| Muitos Capões | Vacaria | 7 | 1-MC-1 | -28,35206 | -51,11268 |
| Marcelino Ramos | Marcelino Ramos | 8 | 2-MR-1 | -27,50741 | -51,90275 |
| Ronda Alta | Ronda Alta | 9 | 2-RD-1 | -27,83906 | -52,76718 |
| Rio Ijuí | Rio Ijuí | 10 | 2-RI-1 | -28,29998 | -55,04998 |
| Torres | Torres | 11 | 2-TO-1 | -29,32604 | -49,79139 |
| Abelardo Luz | Abelardo Luz | 12 | 2-AL-1 | -26,45031 | -52,18131 |
| Barra Nova | Barra Nova | 13 | 1-BN-1 | -27,51242 | -49,75526 |
| Canoinhas | Canoinhas | 14 | 2-CN-1 | -26,26890 | -50,51927 |
| Galvão | Galvão | 15 | 1-GO-1 | -26,38268 | -52,70943 |
| Herval Velho | Herval Velho | 16 | 1-HV-1 | -27,21578 | -51,46365 |
| Lajes | Lajes | 17 | 2-LA-1 | -27,62966 | -50,39526 |
| Marambas | Curitibanos | 18 | 1-MB-1 | -27,32490 | -50,73741 |
| Matos Costa | Matos Costa | 19 | 1-MC-2 | -26,53240 | -51,16127 |
| Petrolândia | Petrolândia | 20 | 1-PA-1 | -27,59428 | -49,73251 |
| Piratuba | Piratuba | 21 | 2-PI-1 | -27,42579 | -51,78401 |
| Porto União | Porto União | 22 | 2-PU-1 | -26,26654 | -51,05752 |
| Rio Chapecó | Ponte Serrada | 23 | 1-RCH-1 | -26,65456 | -52,04381 |
| Seara | Seara | 24 | 1-SE-1 | -27,14331 | -52,29831 |
| São Joaquim | São Joaquim | 25 | 1-SJQ-1 | -28,27128 | -49,91664 |
| Tangará | Tangará | 26 | 2-TG-1 | -27,09529 | -51,24427 |
| Três Pinheiros | Água Doce | 27 | 1-TP-3 | -26,78443 | -51,47568 |
| Taquara Verde | Caçador | 28 | 2-TV-1 | -26,74703 | -51,31477 |
| Altônia | Altônia | 29 | 2-AN-1 | -23,85456 | -53,80681 |
| Apucarana | Apucarana | 30 | 2-AP-1 | -23,49690 | -51,42150 |
| Alto Piquiri | Alto Piquiri | 31 | 2-AP1-1 | -24,00000 | -53,71667 |
| Cândido de Abreu | Cândido de Abreu | 32 | 1-CA-1 | -24,52191 | -51,38116 |
| Campo Mourão | Campo Mourão | 33 | 2-CM-1 | -24,14190 | -52,41140 |
| Chapéu do Sol | Pitanga | 34 | 2-CS-1 | -24,96406 | -51,96473 |
| Guarapuava | Guarapuava | 35 | 2-GP-1 | -25,30543 | -51,65681 |
| Jacarezinho | Jacarezinho | 36 | 1-J-1 | -23,22889 | -49,95227 |
| Joaquim Távora | Joaquim Távora | 37 | 1-JT-1 | -23,46803 | -49,94966 |
| Laranjeiras do Sul | Laranjeiras do Sul | 38 | 2-LS-1 | -25,40080 | -52,41102 |
| Mallet | Mallet | 39 | 1-M-1 | -25,86915 | -50,78576 |
| Monjolinho | Monjolinho | 40 | 1-MO-1 | -24,37329 | -50,87615 |
| Ortigueira | Ortigueira | 41 | 2-O-1 | -24,18103 | -50,88900 |

| Name | City | # | Prillory | LATITUDE (°) | LONGI TUDE (°) |
|------------------------|------------------------|----|----------|-------------------|---------------------|
| Pinhão | Pinhão | 42 | 1-PH-1 | -25,82482 | -51,59075 |
| Pitanga | Pitanga | 43 | 1-PT-1 | -24,93268 | -51,75518 |
| Reserva | Reserva | 44 | 1-R-1 | -24,62266 | -50,88491 |
| Rio Claro do Sul | Rio Claro do Sul | 45 | 1-RC-1 | -26,01330 | -50,70451 |
| Rio do Canto | Alto Paraná | 46 | 1-RCA-1 | -24,82831 | -52,70100 |
| Rio Ivaf | São Caetano do Ivaf | 47 | 2-RI-1 | -23,33131 | -52,45518 |
| Roncador | Roncador | 48 | 1-RO-1 | -24,61206 | -52,24856 |
| Rio Piquiri | Palmital | 49 | 2-RP-1 | -24,82831 | -52,70131 |
| Rio Segredo | Mangueirinha | 50 | 1-RS-1 | -25,70581 | -52,11668 |
| PRS. Jerônimo da Serra | PRS. Jerônimo da Serra | 51 | 1-SJ-1 | -23,78260 | -50,66413 |
| União da Vitória | União da Vitória | 52 | 2-UV-1 | -26,17903 | -50,92866 |
| Amadeu Amaral | Marliá | 53 | 2-AA-1 | -22,30243 | -50,04193 |
| Anhemi | Piracicaba | 54 | 2-AB-1 | -22,77853 | -48,18202 |
| Araçatuba | Araçatuba | 55 | 2-AR-1 | -21,12818 | -50,37406 |
| Assistência | Assistência | 56 | 2-AS-1 | -22,51690 | -47,58190 |
| Artemis | Artemis | 57 | 1-AT-1 | -22,66778 | -47,80491 |
| Cuiabá Paulista | Cuiabá Paulista | 58 | 1-CB-1 | -22,30331 | -52,03931 |
| Carlota Prenz | Angatuba | 59 | 1-CP-1 | -23,37153 | -48,38751 |
| Guareí | Guareí | 60 | 2-GU-3 | -23,34254 | -48,20576 |
| Lagoa Azul | Oswaldo Cruz | 61 | 2-LA-1 | -21,65418 | -50,79318 |
| Lins | Lins | 62 | 2-LI-1 | -21,69227 | -49,75616 |
| Olímpia | Olímpia | 63 | 2-OL-1 | -20,68754 | -48,92776 |
| Piratininga | Piratininga | 64 | 1-PA-1 | -25,17368 | 49,11356 |
| Presidente Epitácio | Presidente Epitácio | 65 | 2-PE-1 | -21,75842 | -52,10189 |
| Piracicaba | Fazenda Pitanga | 66 | 1-PG-1 | -22,54449 | -47,64022 |
| Paranapanema | Paranapanema | 67 | 2-PN-1 | -23,45281 | -48,77431 |
| Paraguaçu Paulista | Paraguaçu Paulista | 68 | 2-PP-1 | -22,41828 | -50,60464 |
| Sarutaia | Sarutaia | 69 | 1-SA-1 | -23,28206 | -49,42643 |
| Taciba | Taciba | 70 | 2-TB-1 | -22,33381 | -51,34668 |
| Tarabai | Tarabai | 71 | 1-TI-1 | -22,5331 | -51,67318 |
| Amambai | Amambai | 72 | 2-AM-1 | -23,10990 | -55,23664 |
| Campo Grande | Campo Grande | 73 | 2-CG-1 | -20,48579 | -54,71914 |
| Dourados | Dourados | 74 | 2-DO-1 | -22,26803 | -54,81275 |
| Rio Aporé | Cassilândia | 75 | 2-RA-1 | -18,83568 | -52,36043 |
| Ribas do Rio Pardo | Ribas do Rio Pardo | 76 | 2-RP-1 | -20,42079 | -53,87242 |
| São Domingos | São Domingos | 77 | 2-SD-1 | -21,82778 | -53,81565 |
| Três Lagoas | Três Lagoas | 78 | 2-TL-1 | -20,87916 | -51,75000 |
| Alto do Garças | Alto do Garças | 79 | 1-AG-1 | -16,96066 | -53,52491 |
| Taquari | Alto Araguaia | 80 | 2-TQ-1 | -17,88166 | -53,27465 |
| Jataí | Jataí | 81 | 2-JA-1 | -17,80656 | -51,78718 |



■ total subsidence x-tectonic subsidence

Fig. II-1-4-19 Calculated tectonic subsidences (backstripping method).

Drilling 12, 36, 50, 55, 58, 82, 70 e 74 (M. C. L. Quintas 1995)

Table II-1-4-3 Basic Parameters used in thermomechanic model (M.C.L. Quintas, 1995)

| parameter | value |
|---|---|
| Density of water | 1.03 g/cm ³ |
| Density of crust | 2.80 g/cm ³ |
| Density of mantle | 3.33 g/cm ³ |
| average density of lithosphere | 2.8 g/cm ³ |
| Temperature on the base of lithosphere | 1.350 °C |
| Thermal diffusion of lithosphere | 8.0 10 ⁻³ cm ² s ⁻¹ |
| Average thermal conductivity of lithosphere | 7.5 10 ⁻³ cat cm ⁻¹ °C ⁻¹ s ⁻¹ |
| Thermal conductivity of water | 1.35 10 ⁻³ cat cm ⁻¹ °C ⁻¹ s ⁻¹ |

Table II-1-4-4 Ratios of tectonic subsidence and total subsidence with the time
with the time. The values in the parenthesis correspond to the averages for the time (M. C. L. Quintas, 1995).

| Formations or Groups | S _{tectonic} / time | S _{total} / time |
|----------------------|------------------------------|---------------------------|
| Grupo Rio Ivai | 7 | 13 |
| Furnas | 13 | 19 |
| Ponta Grossa | 6 | 14 |
| Itararé | 14 | 26 |
| Rio Bonito | 17 | 39 |
| Palermo | 30 | 71 |
| Irati | 33 (49) | 58 (111) |
| Teresina | 42 | 178 |
| Rio do Rasto | 92 | 137 |
| Pirambóia | 3 | 6 |
| Botucatu | 1 | 3 |
| Serra Geral | 5 | 26 |
| Bauru | 1 | 2 |

b) 熱力学モデルによる収縮率 (ϵ)

熱力学的モデルから得られる理論沈下曲線とバックストリップング法から得られる構造的沈下曲線を比較し、各ボーリングの観測沈下曲線に最も適合するリソスフェアの上部および下部の収縮率 β , δ およびリソスフェア全体の収縮率 ϵ が求められた。Table II-1-4-3 は熱力学モデルで使用された基本パラメータである。

観測沈下曲線から、膨張活動第1期：シルル系－デボン系堆積前(440 Ma)、膨張活動第2期：上部石炭系堆積前(296Ma)、膨張活動第3期：ジュラ紀－白亜紀洪水玄武岩噴出前(144Ma)が推定される。D.E.James et al. (1994、パラナの地震データ)の地殻層厚 $a=45$ km とリソスフェア層厚 $t_c=150$ km を基に収縮率 (ϵ) が計算された。M.C.L.Quintas (1995)は、Royden および Keen (1980)の熱力学モデルの方が McKenzie (1978)のモデルより誤差が少ないことを確認し、前者のモデルを採用している。

第1期膨張活動： ϵ は 1.01～1.32 である (Fig.II-1-4-20)。高 ϵ 帯は Paraná 州西部－北西部のパラグアイ東部国境付近にかけて NE-SW 方向にみられる。このことは、Paraná 州西部－北西部がこの時代、NE-SW 方向にリソスフェアの厚さが最も薄かったことを示す。これに対する拡張応力場は NW-SE 方向であったと推定される。また第1期膨張活動の Paraná 州北西部の高 ϵ 帯はシル、岩脈が最も多量に貫入した地域と一致する (Fig.II-1-4-21)。

一方、Matto Grosso do Sul 州の W52° の経線に沿って N-S 方向に長く伸びるやや高 ϵ 帯 (約 1.16) がみられる。これらの結果は (Fig.II-1-4-9, Fig.II-1-4-10) の結果とも一致する。すなわち、Rio Ivai スーパーシーケンスや Paraná スーパーシーケンスの堆積活動が第1期膨張活動後、この地域から開始したものと推定される。

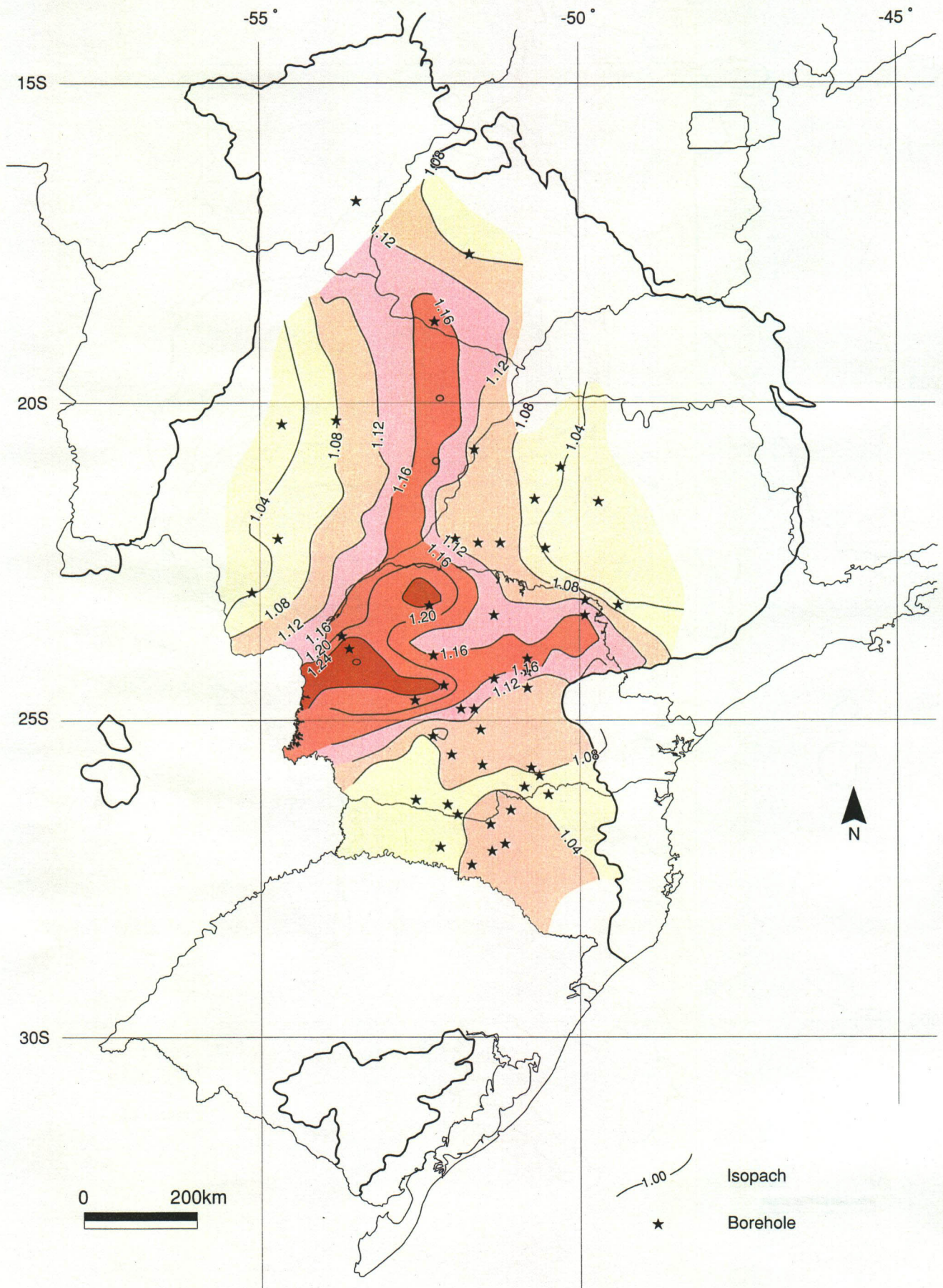
第2期膨張活動： ϵ は 1.06～1.61 である (Fig.II-1-4-22)。Paraná 州西部から São Paulo 州南西端の Paraná 川沿いに NE-SW 方向の高 ϵ 帯 (S 23° 8' ～S 22° 3', W 53° 8' ～52° 0') がみられる。基本的には、第1期と同じ方向の拡張応力場が継続していたとみられる。しかし São Paulo 州南西端の高 ϵ 帯は第1期ではみられなかったものである。

ϵ 値の絶対値は前者ほど大きくないが、第1期の活動で見られなかった NW-SE 方向の高 ϵ 帯がみられる。この高 ϵ 帯は Matto Grosso do Sul 州中部から Paraná 州南部まで伸びており、この位置に NW-SE 方向の最も厚いシルが観察される (Fig.II-1-4-21)。NW-SE 方向の高 ϵ 帯については、Turner et al. (1994)によると、南米大陸が Gondwana 大陸から時計廻りに回転し、海洋の開口が南から北方向に向かって進行した (Fig.II-1-4-23) ことから、NE-SW 方向の拡張応力場が働き、NW-SE 方向の断裂帯または周辺性ベーズンが形成された。

更に、Rio Grande do Sul 州の北端部にも ϵ 1.42 以上の高 ϵ 帯がみられる。

第2期の最大 ϵ 値は第1期より大きいことから、第2期のリソスフェアの収縮は第1期より大きく、この地域により大きな拡張応力場が働いていたものとみられる。

第3期膨張活動： ϵ は 1.01～1.26 である (Fig.II-1-4-24)。パラナ洪水玄武岩 (Serra Geral 層) 噴出前の膨張活動という点で、他の時期とは形成メカニズムは異なる。高 ϵ 帯は São Paulo 州南西端(ボーリング: 2-CB-1-SP, 2-TB-1-SP, 1-TI-1-SP, 2-PE-1-SP) に位置しており、この高 ϵ 帯は第2期の最大高 ϵ 帯と一致する。しかし第2期でみられた Paraná 州西部－北西部の Paraguay 国境付



**Fig. II-1-4-20 Iso-attenuation map of the first distensible event (440 Ma)
(M.C.L. Quintas, 1995)**