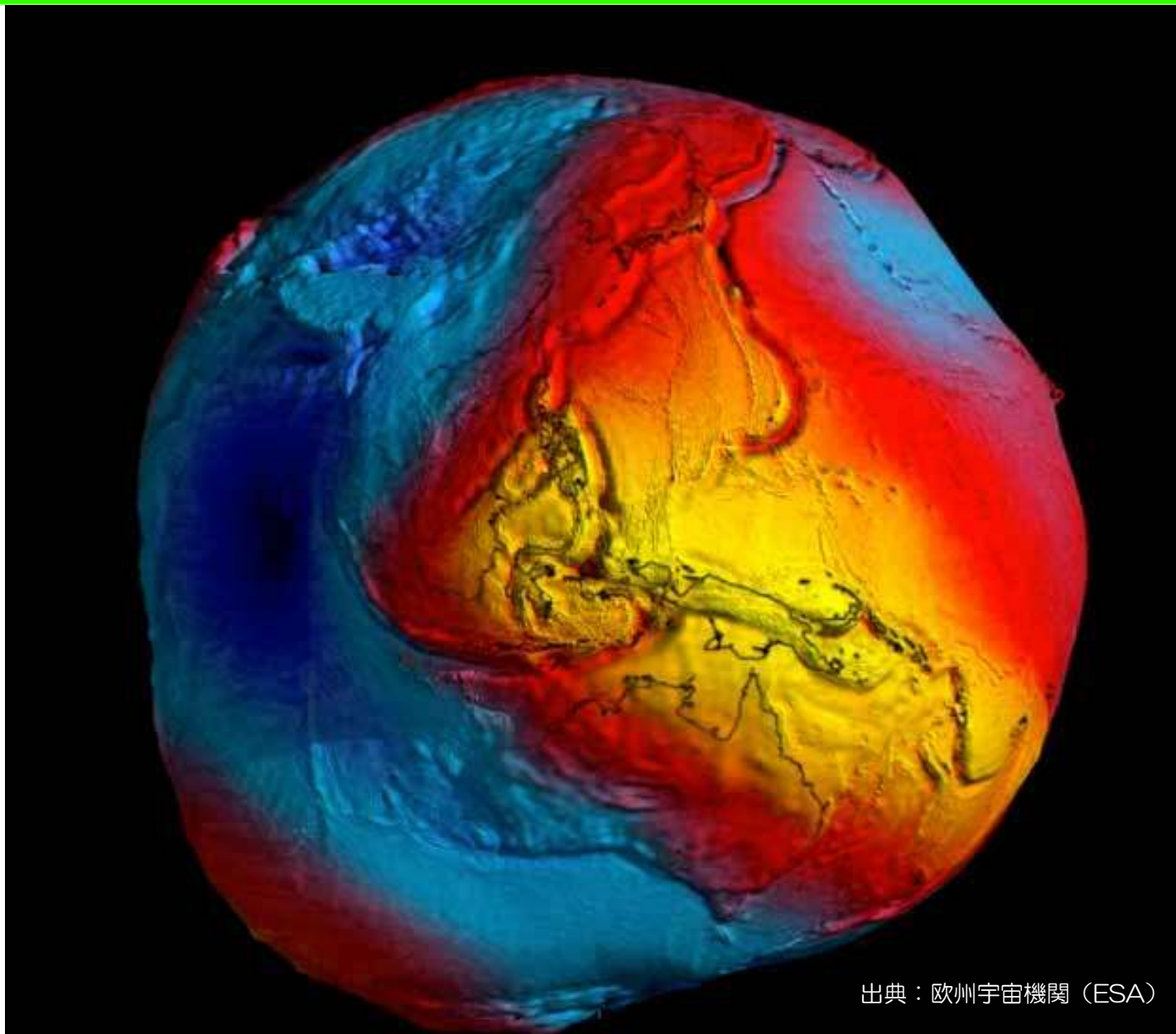


# 地図と重力

「地質の日」記念企画展示 市民セミナー

【日時】 平成26年5月17日 13:30～

【場所】 北海道大学総合博物館



出典：欧州宇宙機関（ESA）

重力衛星（GOCE）の観測データで作ったジオイド 赤は重力の凸部、青は凹部を表す



出典：深川市都市農村交流センターアグリ工房まあぶ果木体験見本園HP



# 重力の発見と歴史上の人物

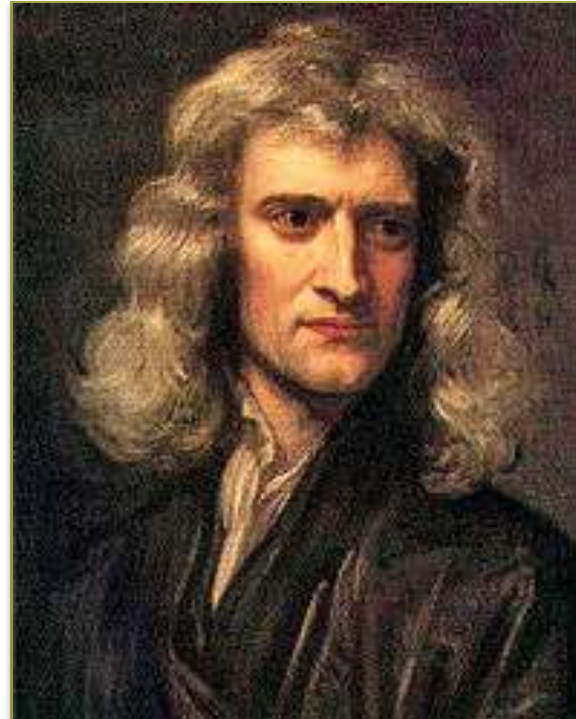


ガリレオ・ガリレイ  
(1564-1642)

物理学者・天文学者・哲学者

天文学の父  
振り子の等時性  
落体の法則

Galileo Galilei



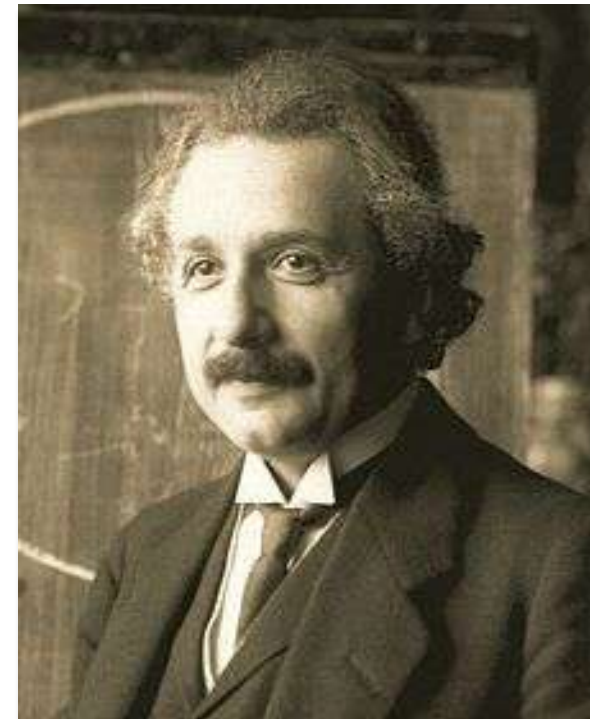
アイザック・ニュートン  
(1642-1727)

哲学者・数学者・神学者

古典力学・近代物理学の祖  
万有引力の法則

理論物理学者

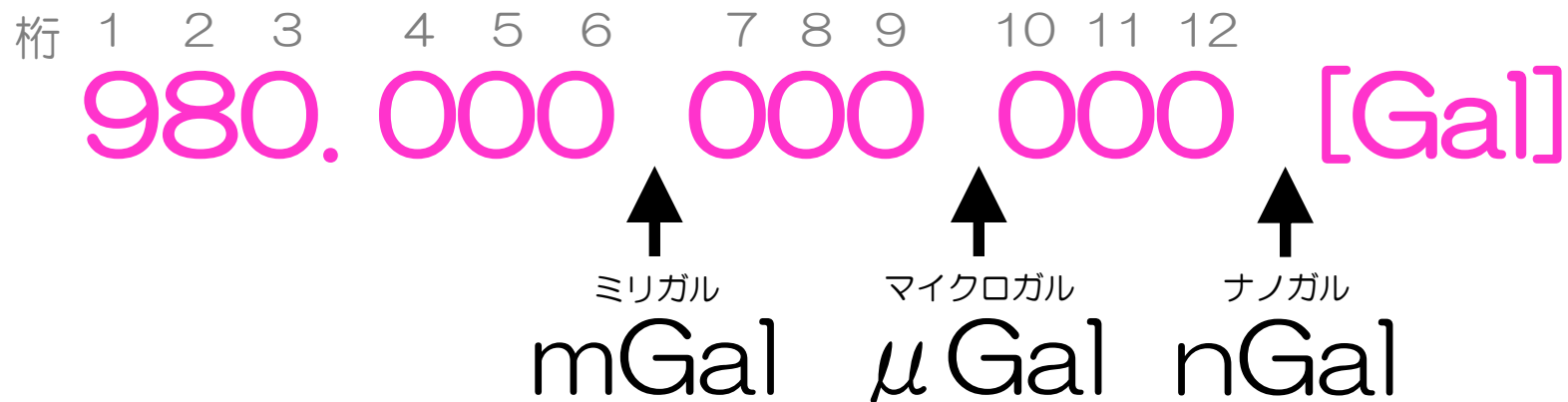
現代物理学の父  
特殊相対性理論  
一般相対性理論



アルベルト・アインシュタイン 4  
(1879-1955)

# 重力値の有効桁からわかること

$$1 \overset{\text{ジー}}{[G]} = 9.8 \text{ [m/s}^2\text{]} = 980 \overset{\text{ガル}}{[Gal]}$$



## 重力値からわかること

- 4桁目: 観測点の緯度と高さで決まる
- 5桁目: 地下の構造に関する情報がわかりはじめる
- 7桁目: 床と机の上の距離の差で「3」程変化する
- 9桁目: 1cm程の上下方向の地殻変動の変化を捉える可能性
- 12桁目: 現在、陸上で計測できる重力値の限界

# 高校物理の教科書 (一部抜粋)

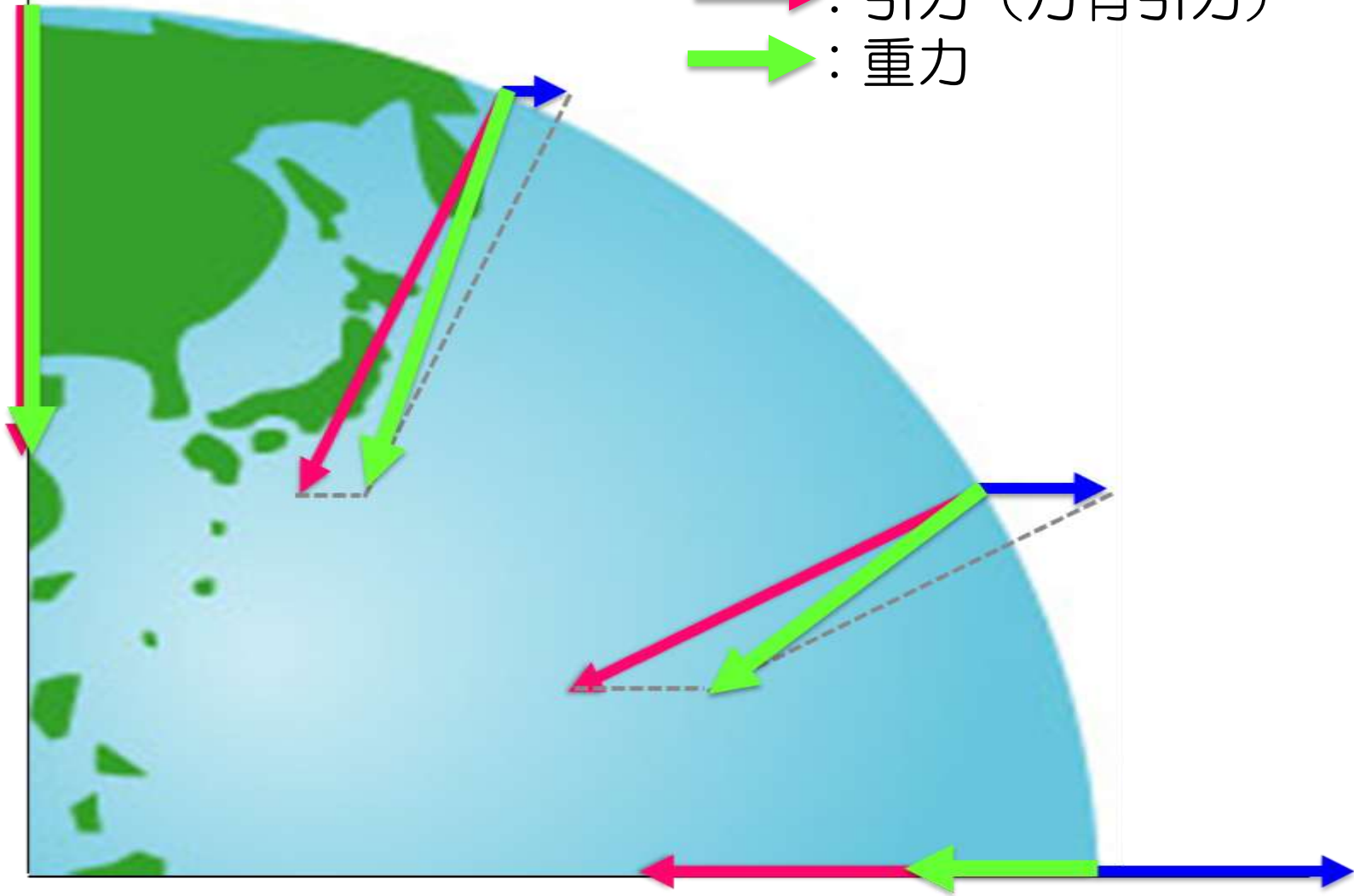
「地球上の物体に働く地球の引力（万有引力）は、地球の重心（ほぼ中心）に向かう力である。また、地球上の物体には地球の自転によって地球の自転軸に直角外向きの遠心力が働く。重力は、引力と遠心力の合力である。物に重さがあるのは重力があるからである。」

# そもそも重力とは？

自転軸

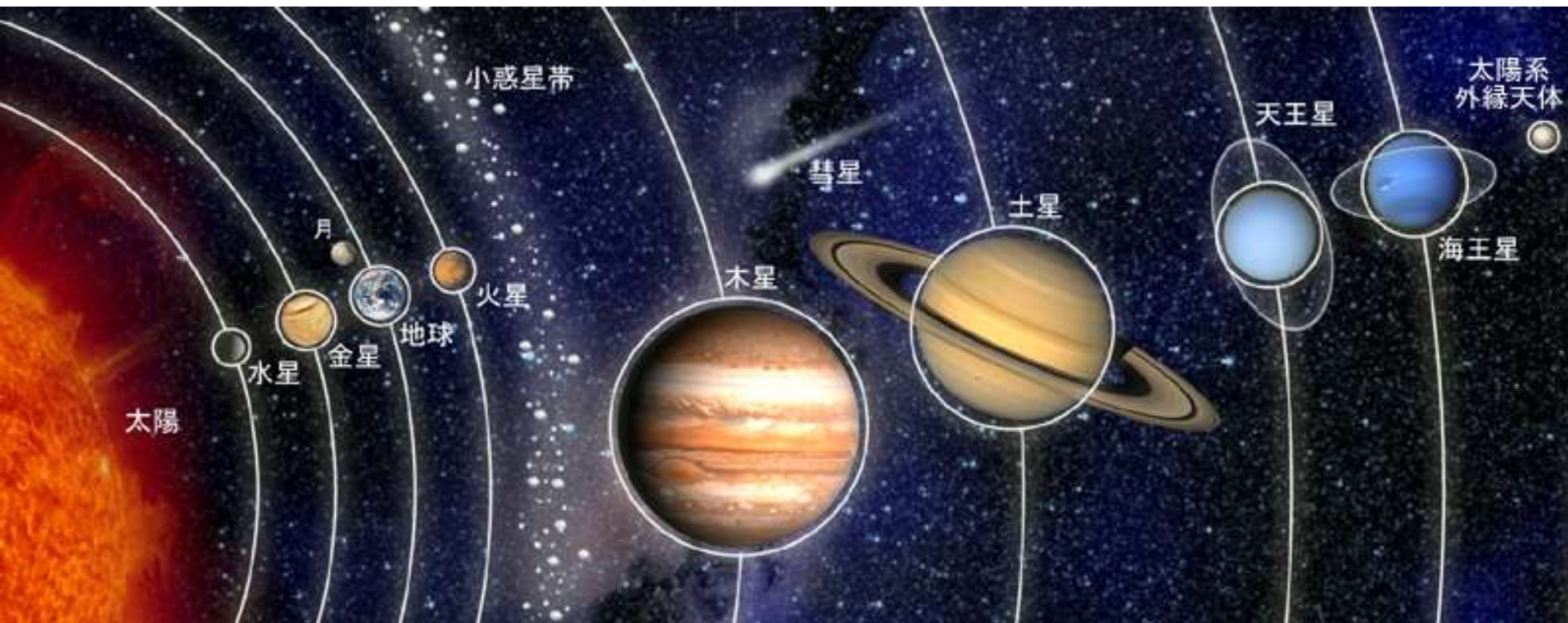


- : 地球の自転による遠心力
- : 引力（万有引力）
- : 重力





# (余談)太陽系の重力



|   |     | 太陽からの距離<br>最大(10 <sup>8</sup> km) | 質 量<br>(地球を1として) | 平均密度<br>(水を1として) | 赤道重力<br>(地球を1として) |
|---|-----|-----------------------------------|------------------|------------------|-------------------|
| 水 | 星   | 0.698                             | 0.0552           | 5.43             | 0.38              |
| 金 | 星   | 1.089                             | 0.8150           | 5.24             | 0.91              |
| 地 | 球   | 1.521                             | 1.0000           | 5.52             | 1.00              |
| 火 | 星   | 2.492                             | 0.1074           | 3.93             | 0.38              |
| 木 | 星   | 8.161                             | 317.83           | 1.33             | 2.37              |
| 土 | 星   | 15.087                            | 95.16            | 0.69             | 0.93              |
| 天 | 王 星 | 30.081                            | 14.54            | 1.27             | 0.89              |
| 海 | 王 星 | 45.449                            | 17.15            | 1.64             | 1.11              |
|   | 月   | -----                             | 0.0123           | 3.34             | 0.17              |



# 重力測定は何のため？！

## □地球の形状を決定する

- ・ ジオイドモデル（平均海面の形状）の構築
- ・ 水準測量の補正計算

## □計量分野における利用

- ・ はかり、気圧計、圧力計等の計量機器の校正

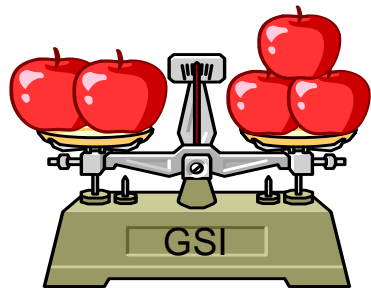
## □地殻変動などの研究

- ・ 重力の時間変化による地殻変動の監視
- ・ 他の測位技術（GNSS測量・水準測量）ではみられない変化を捉える

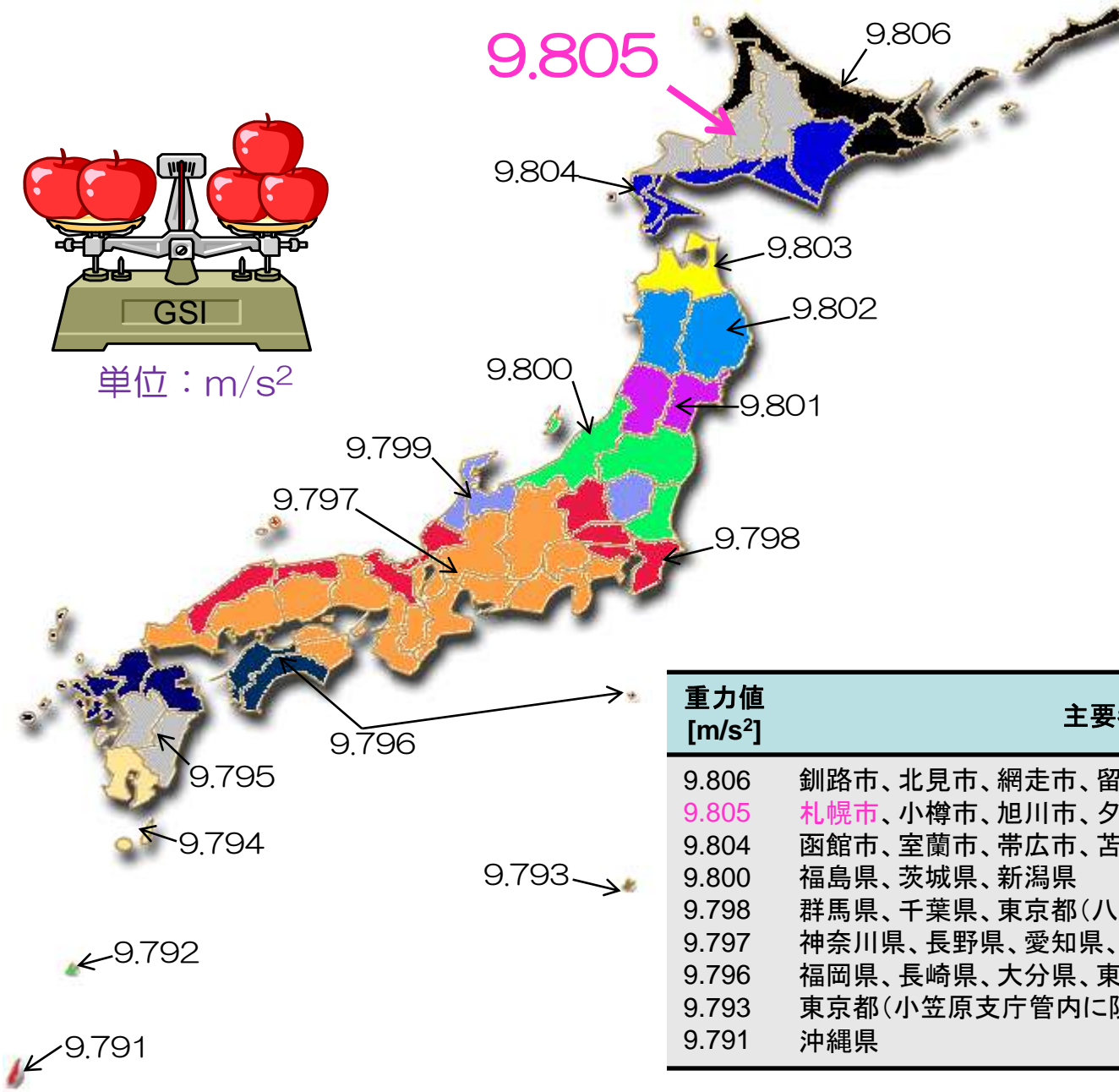
## □地下構造を推定する

- ・ 物理探査の一手法としての鉱物資源探査
- ・ 地下における活断層の分布の推定

# 計量機器の校正に使われる重力補正とは？



単位：m/s<sup>2</sup>



| 重力値 [m/s <sup>2</sup> ] | 主要都市名                       |
|-------------------------|-----------------------------|
| 9.806                   | 釧路市、北見市、網走市、留萌市、稚内市、根室市...  |
| 9.805                   | 札幌市、小樽市、旭川市、夕張市、岩見沢市...     |
| 9.804                   | 函館市、室蘭市、帯広市、苫小牧市、登別市...     |
| 9.800                   | 福島県、茨城県、新潟県                 |
| 9.798                   | 群馬県、千葉県、東京都(八丈、小笠原を除く)...   |
| 9.797                   | 神奈川県、長野県、愛知県、大阪府、広島県、香川県... |
| 9.796                   | 福岡県、長崎県、大分県、東京都(八丈島に限る)...  |
| 9.793                   | 東京都(小笠原支庁管内に限る)...          |
| 9.791                   | 沖縄県                         |



佐久間式絶対重力計 (GA60)  
1980年代



Micro-g LaCoste社の絶対重力計 (FG5)  
1990年代





ノースアメリカン重力計



GSI型振り子重力計



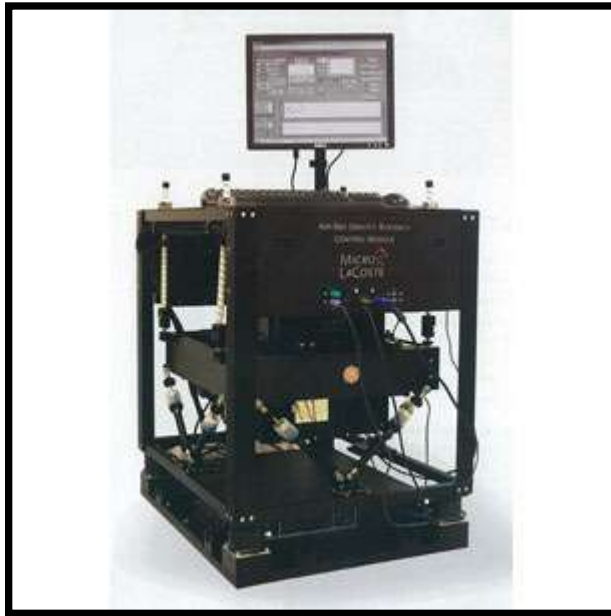
ウォルドン重力計



ラコスト重力計



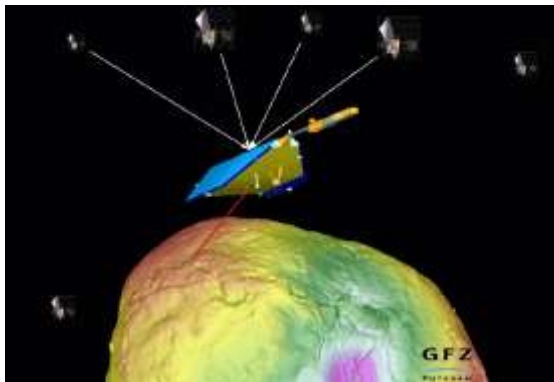
シントレックス重力計 (CG5)



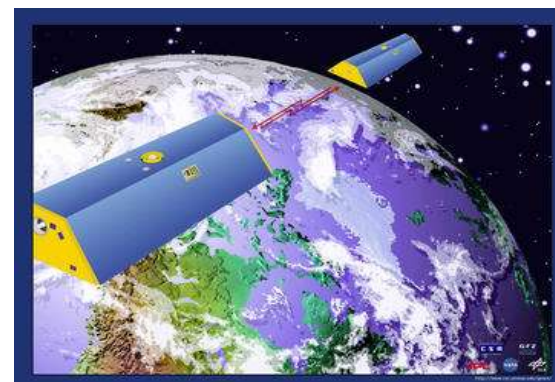
船上重力計  
Air-Sea Gravity Meter System II



海上および航空機重力計



重力衛星  
CHAMP (GFZ, 2000)

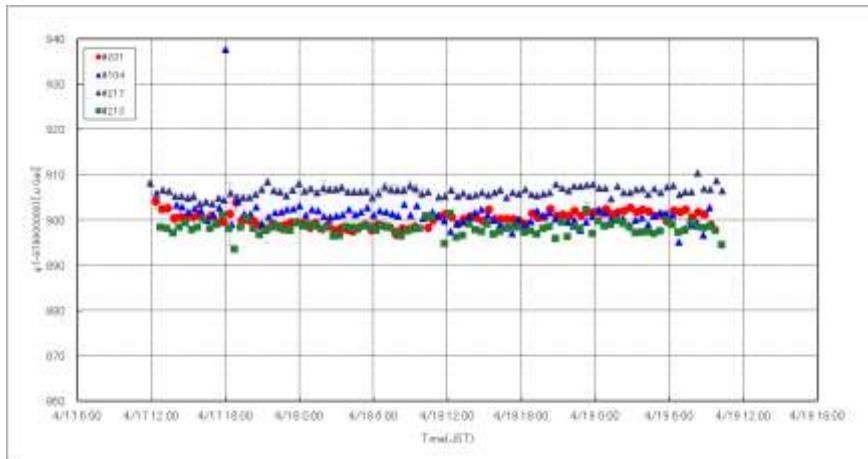


重力衛星  
GRACE (2002)



重力衛星  
GOCE (2009.3)

絶対重力計 (FG5)  
 「事実上の標準器」  
 公称確度 2  $\mu$ Gal



H25年度の絶対重力測定結果



FG5による国内比較観測の風景



## 2つの測定方法

### 絶対測定

その場で測れば重力値がわかる

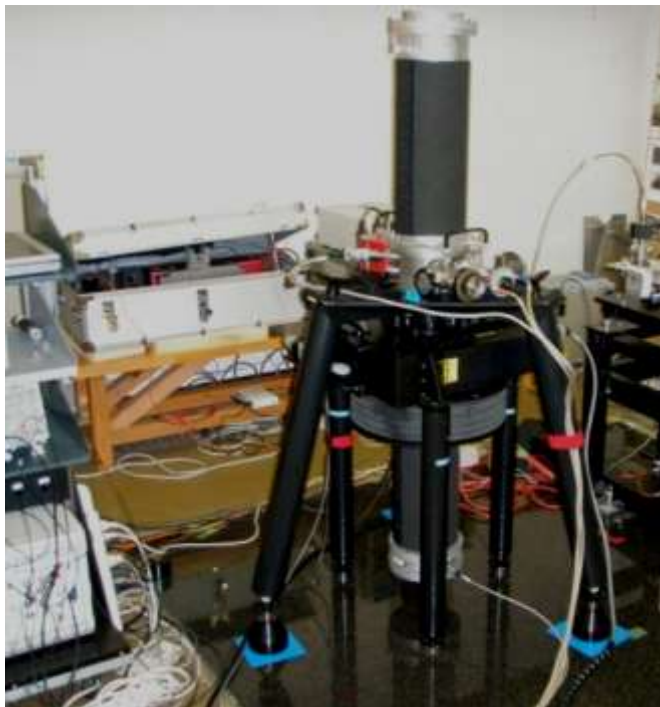
### 相対測定

手軽に測れて重力差がわかる

# 絶対測定

真空中で物体を自由落下させ、落ちた距離と落ちるのに要した時間から重力値を求める

$$l(t) = v_0 t + \frac{1}{2} g_0 t^2 + \frac{1}{6} \gamma_0 t^3 + \frac{1}{24} \gamma g_0 t^4 + O(t^5)$$

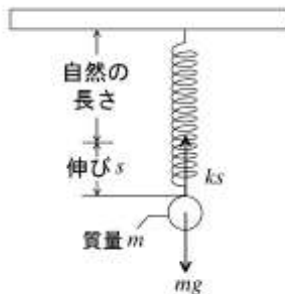


| 良い点                              | 悪い点         |
|----------------------------------|-------------|
| 絶対重力値が得られる                       | 調整に技術を要する   |
| 高精度<br>(公称精度 $2 \mu\text{Gal}$ ) | 高額 (6~7千万円) |
| 可搬型                              | 維持費も高額      |
| 自動運転可                            | 可搬型だが重い     |
| リモート観測可                          | 測定環境に左右される  |

# 相対測定

バネの先に下げた錘の位置の変化から2地点間の重力差を求める。

※バネと錘を変えなければ、重力差はバネの伸びの差に比例する。



| 良い点                         | 悪い点            |
|-----------------------------|----------------|
| コンパクト (10kg)                | FG5より精度が劣る     |
| 比較的高精度<br>(精度：数十 $\mu$ Gal) | 器械のあたり・はずれが大きい |
| 野外観測可                       | スケール定数が不明      |
| 操作が簡単                       | 相対値のみ得られる      |
| 比較的安価 (1千万円)                |                |



# 北海道内の重力点

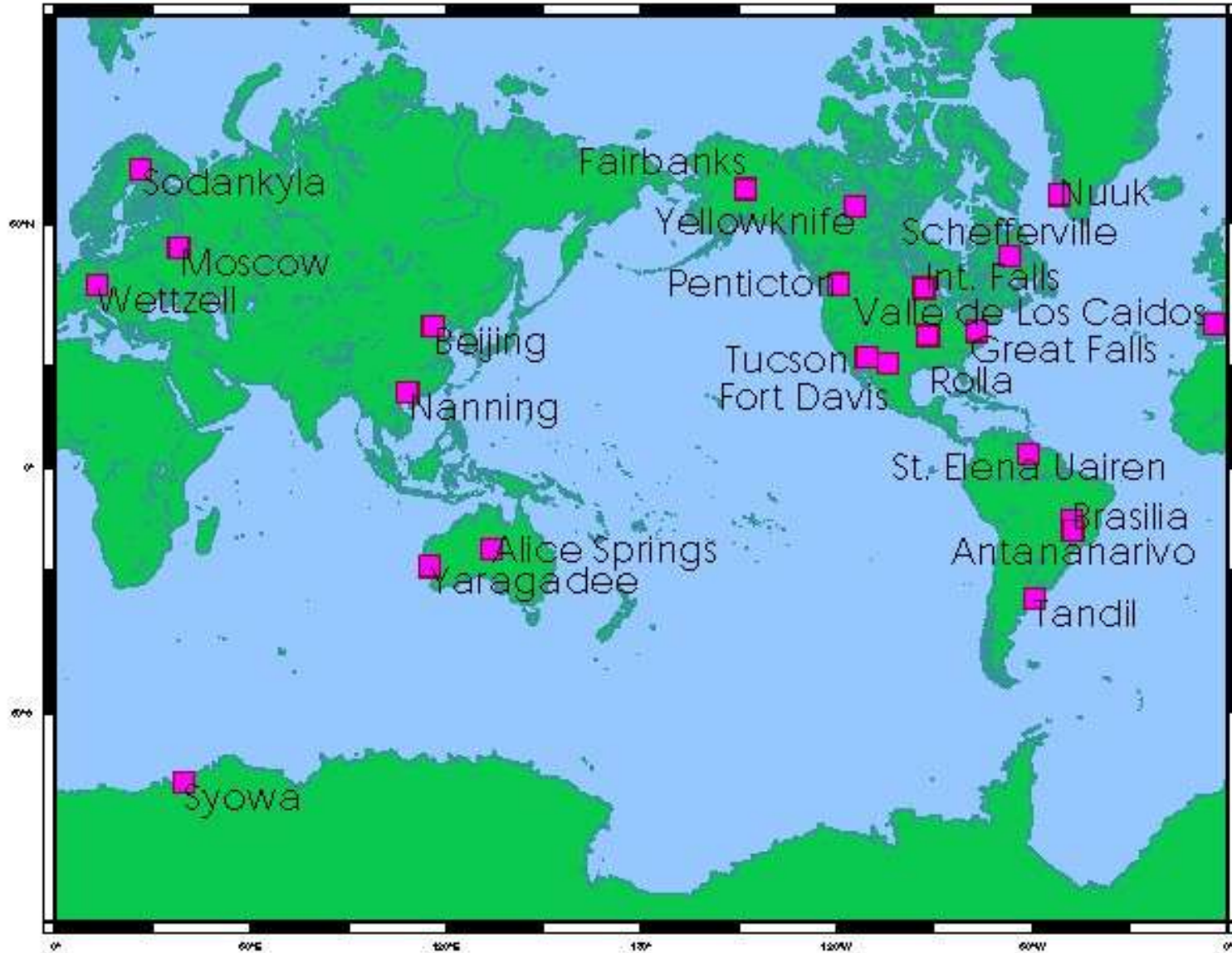


北海道内の重力点or重力値が付与されている基準点

|                    |       |     |
|--------------------|-------|-----|
| ● (Red with cross) | 基準重力点 | 4点  |
| ◎ (Black)          | 一等重力点 | 10点 |
| ◇ (White)          | 電子基準点 | 6点  |
| □ (White)          | 水準点   | 7点  |

(2014年5月現在)

# 世界の重力観測点

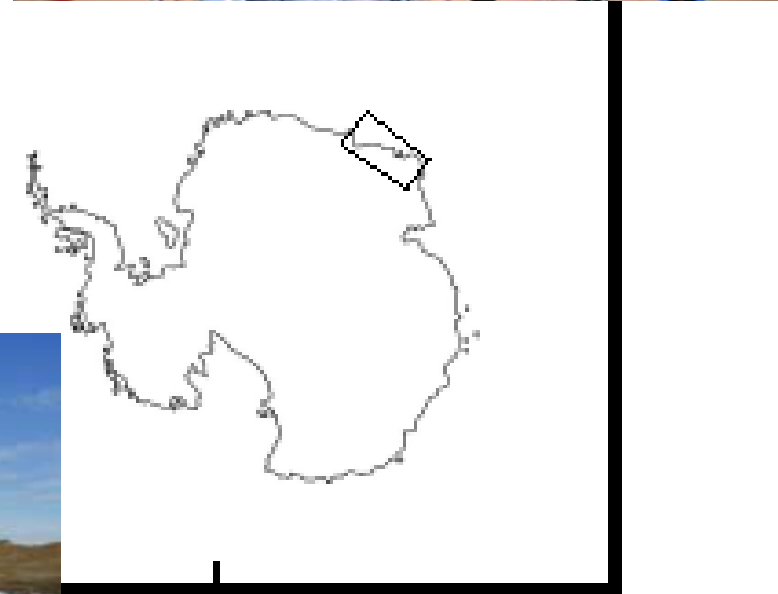


国際絶対重力基準網 (IAGBN) は、A、B2種類の重力点から構成されている。重力点Aは、地殻の安定した地域に設置される絶対重力点であり、重力点Bは地殻変動が予想される地域に設置される絶対重力点である。日本の重力点Aは南極昭和基地に、重力点Bは京都、江刺及び筑波に設置されている。





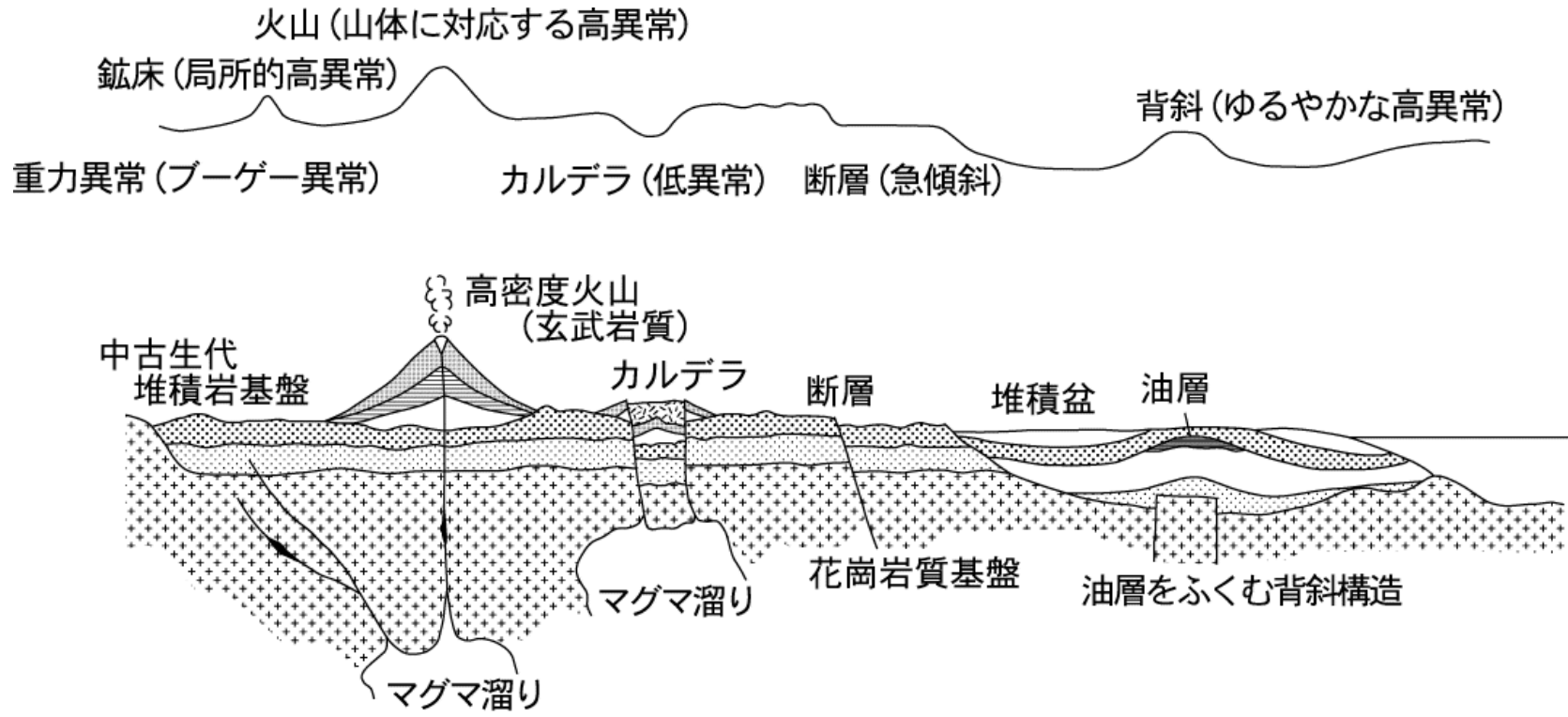
# 南極の重力観測①





## 第55次南極地域観測隊による相対重力測量





- 鉱山: 金属鉱床の多くは周辺物質にくらべ高密度物質をふくむので高重力異常を示す
- 火山: 玄武岩質火山は高密度の山体をつくる場合が多く、高重力異常を示す
- カルデラ: カルデラにともなう陥没構造は低密度の火山性堆積物に対応して低重力異常を示す
- 断層: 垂直変位をともなう断層には重力異常のギャップがみられる
- 背斜構造: 油層をふくむ背斜構造には通常重力異常の盛り上がりが見られる

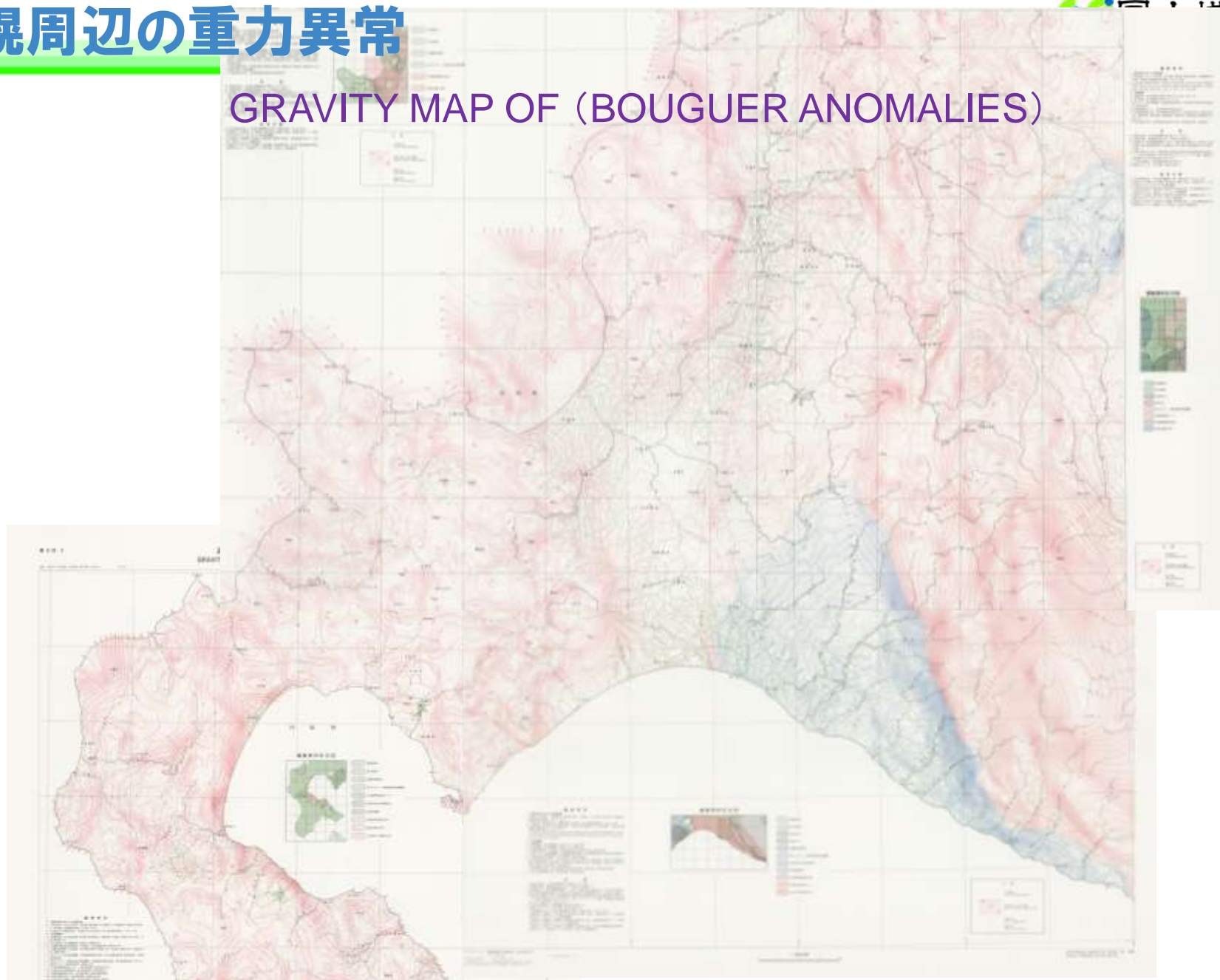
## 重力異常（ブーゲー異常）の四色立体図



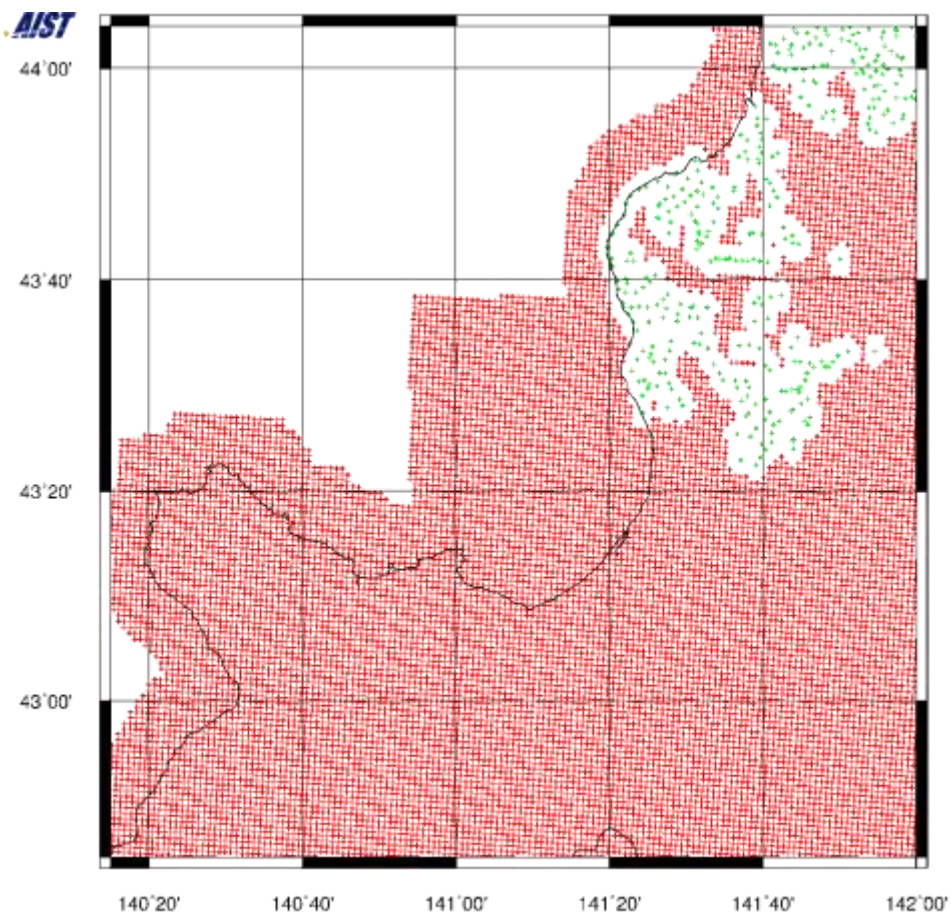


# 札幌周辺の重力異常

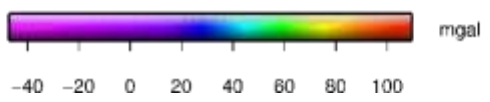
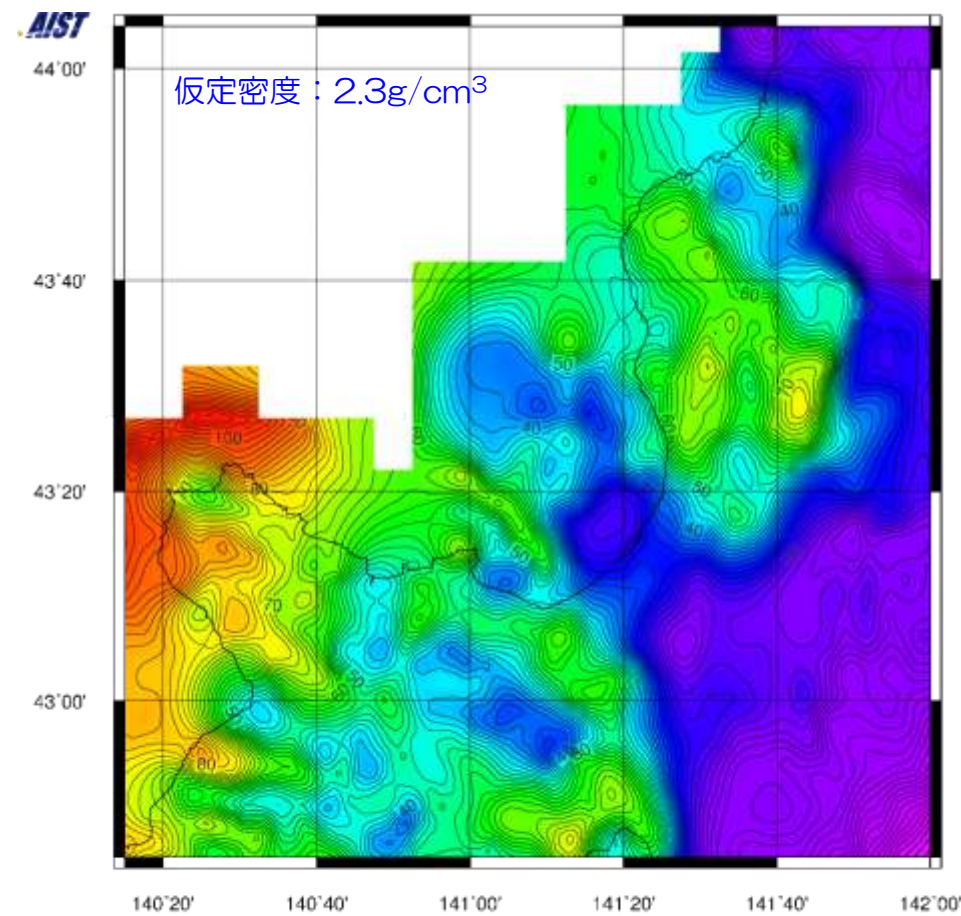
## GRAVITY MAP OF (BOUGUER ANOMALIES)







測定点分布図



ブーゲー異常図

ご清聴ありがとうございました！