

EGM96와 EIGEN-CG01C 모델에 의한 한반도 주변의 중력포텐셜 비교분석

유상훈¹⁾, 김창환²⁾, 민경덕¹⁾

¹⁾연세대학교 지구시스템과학과, ysh@yonsei.ac.kr

²⁾한국해양연구원 해저환경·자원연구본부

Gravity Potential Comparative Analysis around Korean Peninsula by EGM96 and EIGEN-CG01C Models

Sang Hoon Yu¹⁾, Chang Hwan Kim²⁾ and Kyung Duck Min¹⁾

¹⁾Dept. of Earth System Sciences, Yonsei University

²⁾Marine Geoenvironment and Resources Research Div., KORDI

요약 : 인공위성 측지학의 발달로 최근 들어 정밀도와 해상도가 높아진 중력포텐셜 모델들이 공개되었다. 근래에 가장 많이 사용되는 EGM96과 CHAMP, GRACE 등의 저고도 위성자료를 기반으로 하는 가장 최근의 EIGEN-CG01C 모델을 이용하여 한반도와 인근 지역을 포함하는 123° ~132° E, 33° ~43° N의 연구지역에서 지오이드와 중력이상을 계산하고, 비교 검토하였다. 두 모델은 지오이드와 중력이상에서 0.90이상의 매우 높은 상관관계를 가지고 있으나, Amplitude 분석에서 EIGEN-CG01C 모델이 고주파영역이 우세한 것으로 나타났다. 두 모델을 통해 계산된 중력이상에서 북한지역 및 황해 연안 일부에서 다소 차이를 보인다. Power spectrum 분석을 통하여 대규모 지구조나 지하자원 탐사에 유용하게 활용될 수 있는 잔여이상을 계산하였다.

주요어 : EGM96, EIGEN-CG01C, Amplitude, Power spectrum 분석, 잔여이상

Abstract : According to development of satellite geodesy, gravity potential models which have high accuracy and resolution were released. Using the EIGEN-CG01C model based on low orbit satellite data such as CHAMP and GRACE and the EGM96 model, geoid and gravity anomaly were calculated and compared. The study area is located at 123° ~132° E, 33° ~43° N including Korea. Comparing two models, very high correlation more than 0.90 in geoid and gravity anomaly was observed, but in amplitude analysis the EIGEN-CG01C model have higher amplitude in high frequency area. Gravity anomaly calculated with both models shows a little difference in North Korea and some coast area of the Yellow sea. Through power spectrum analysis, residual anomaly that can be used in large scale structure or underground resources survey was calculated.

Keywords : EGM96, EIGEN-CG01C, Amplitude, Power spectrum analysis, residual anomaly

1. 서론

인공위성 지구물리자료는 물리적, 또는 정치적으로 접근이 용이하지 못한 지역의 탐사라든지, 또는 주기적이고 장기적인 관측에 매우 유용하다. 1970년대 이후 인공위성 기술의 발달로 자료 분포의 연속성과 균질성이 뛰어나고 광역적인 지구정보 획득이 가능하게 되었으며, 정밀도가 크게 향상된 지오이드와 중력장을 구할 수 있게 되었다.

지구 전체의 각종 자료원에 의한 고도이상자료를 구면조화분석(Spherical harmonic analysis)하여 계산한 전 지구 지오폠펌셜(Global geopotential) 모델은 NASA의 고다드 우주비행센터(GSFC ; Goddard Space Flight Center)의 GEM-T1,T2(1988,89)가 효시를 이루고 있으며, 1991년 미국 오하이오 주립대학(OSU)의 Rapp, R.H.에 의해 OSU91A 모델이 발표되었다. 또한 1990년대 초부터 미국의 NASA, GSFC, DMA(Defence Mapping Agency), OSU 등이 합동으로 새로운 중력 모델을 개발해 왔으며, 1996년 EGM96(Earth Gravity Model 1996)를 공개하였다(Lemoine et al., 1998). 2000년대 이르러 인공위성의 발달과 함께 GRACE, CHAMP를 바탕으로 하는 EIGEN-CG01C모델이 공개되었다(Reigber, Ch. et al., 2004).

본 연구에서는 한반도를 중심으로 동경123° ~132° , 북위33° ~43° 의 연구지역을 설정하고, EGM96와 EIGEN-CG01C모델을 이용하여 한반도 주변의 중력포텐셜을 이해하고, 분석하고자 한다. 각 자료가 갖는 고유한 특성을 파악하고 연구에 정확하게 적용하는 것은 지구물리학연구에 있어서 매우 중요한 과정이며, 연구결과의 신뢰도와 연결된다. 따라서 본 연구에서는 다양한 자료처리 과정을 통해 두 자료의 특성을 파악하고, 나아가 한반도 지체구조 연구에 필요한 기초정보를 제공하고자 한다.

2. 기초이론

EGM96와 EIGEN-CG01C모델은 구면조화분석(spherical harmonic analysis)에서 최대차수가 360까지 계산된 것으로 지표면에서의 공간 해상도는 약 50 km이다. 각 모델의 C_{nm} , S_{nm} 을 이용하면 임의의 지점에서의 disturbing potential $T(r, \phi, \lambda)$ 를 구할 수 있다(Heiskanen and Moritz, 1967). 즉

$$T(r, \phi, \lambda) = -\frac{GM}{r} \left[\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\cos \phi) \right] \quad (1)$$

- r, ϕ, λ : 계산점의 반경, 여위도 및 경도
- GM : 지심인력상수
- n, m : spherical harmonic의 degree와 order
- P_{nm} : fully normalized Legendre functions
- C_{nm}, S_{nm} : Stoke's coefficients (fully normalized)

이다. Bruns 공식에 의해 지오이드는

$$N = -\frac{T}{\gamma} \quad (2)$$

γ : 정규중력(normal gravity)

이다. 또한 gravity disturbance는 disturbing potential의 음의 수직미분 즉, $\zeta g = -\frac{\partial T}{\partial r}$ 로 정의되며, 중력이상 Δg 는

$$\Delta g = \zeta g - \frac{2}{r} T \quad (3)$$

이다.

3. 연구결과

두 모델의 degree별 신호의 Amplitude를 비교해 보았다. Amplitude는 degree가 높아지면서 EIGEN-CG01C모델이 다소 우세한 경향을 보여주고 있으며, 이는 단과장 성분 즉, 위성자료가 아닌 저고도탐사 자료의 해상도와 관련이 있다(Fig. 1).

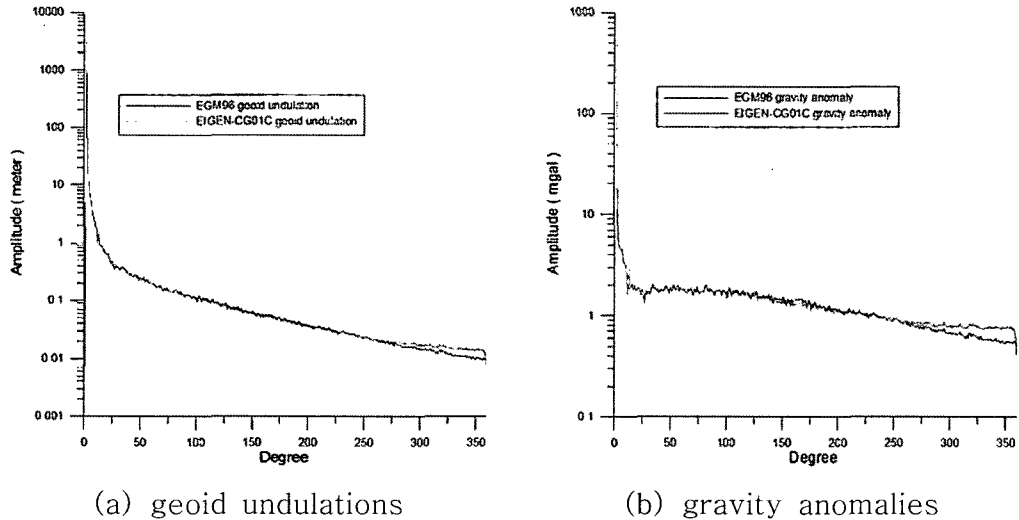
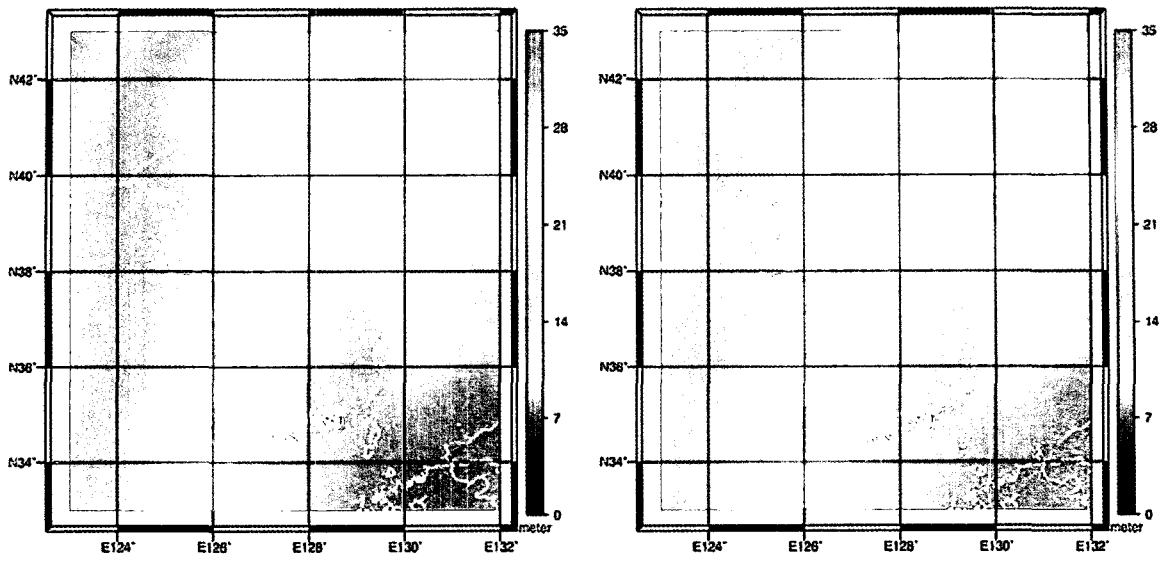


Fig. 1. Signal degree amplitudes comparison(EGM96 vs EIGEN-CG01C). WGS84 지구타원체를 기준으로 EGM96과 EIGEN-CG01C 모델을 이용하여 구면조화 분석을 최대차수 360으로 실시하여, 중력이상과 지오이드 기복을 계산하였다(Table 1). 지오이드 기복은 전반적으로 두 모델 모두 비슷하게 약 10~30m의 분포를 보이며, 북서 방향에서 남동방향으로 서서히 증가하는 경향을 보인다. 중력이상의 경우 EIGEN-CG01C 모델이 EGM96 모델보다 좁은 범위에서 분포하고 있으며, 두 자료 모두 백두산과 개마고원, 태백산맥에서 고이상을 보이고, 동해의 울릉분지 등에서 저이상이 관찰된다(Fig. 2). 두 모델의 중력이상에서 차이가 나는 부분을 파악하기 위하여 두 자료의 차를 도시해 보았다. 함경산맥과 개마고원에서 가장 많은 차이를 보이는 데, 이는 추후 북한지역의 중력자료 확보와 함께 지속적인 연구가 필요한 부분이다(Fig. 3). 해양지역의 경우 황해 해안선을 따라 나타나는 두 자료의 차이는 Geosat, ERS1 등의 인공위성 레이더고도계 관측값 및 저고도 탐사자료를 이용하여 계산된 Smith and Sandwell(1997)의 중력자료와 상관관계를 통해 비교하여 볼 때, EGM96모델과의 (해양지역만의) 상관계수가 0.79로 EIGEN-CG01C모델(0.74)보다 다소 높게 나타났다(Fig. 4).

중력이상은 매우 광범위한 주파수대에 걸쳐 존재한다. 일반적으로 주파수 영역에서 심부 이상체에 의한 효과가 저주파의 장주기 특성을 갖고, 천부 이상체에 의한 효과는 고주파의 단주기 특성을 갖는다. 파워스펙트럼 분석을 통하여 두 모델 모두 12를 절단차수로 결정하고, 두 모델의 중력이상을 분리, 도시하였다(Fig. 5).

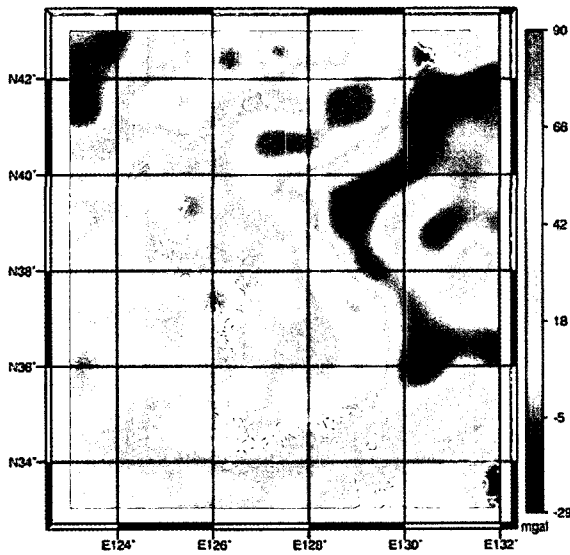
Table 1. Spherical harmonic analysis Results

Model		Min	Max	Mean	S. D.
EGM96	geoid	8.18	33.54	23.32	5.38
	gravity	-29.51	106.82	19.01	20.43
EIGEN-CG01C	geoid	9.48	33.74	23.23	5.28
	gravity	-36.57	72.05	18.72	18.36

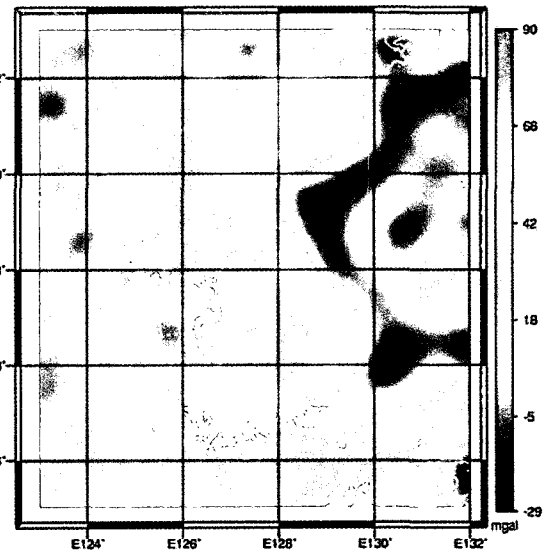


(a) EGM96

(b) EIGEN-CG01C



(c) EGM96



(d) EIGEN-CG01C

Fig. 2. Geoid undulations N (meter) and Gravity anomalies Δg (mgal).

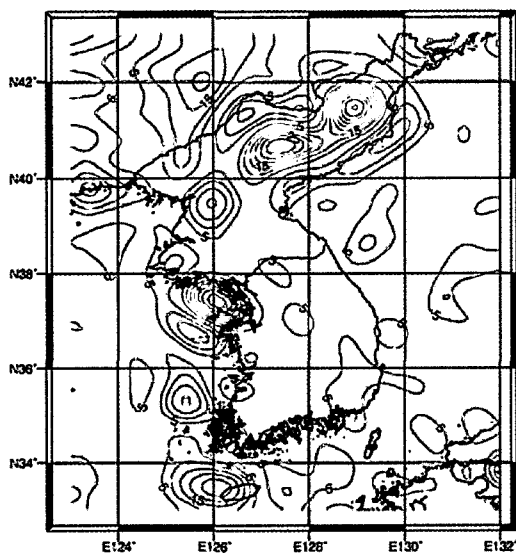


Fig. 3. Differences of gravity anomalies.

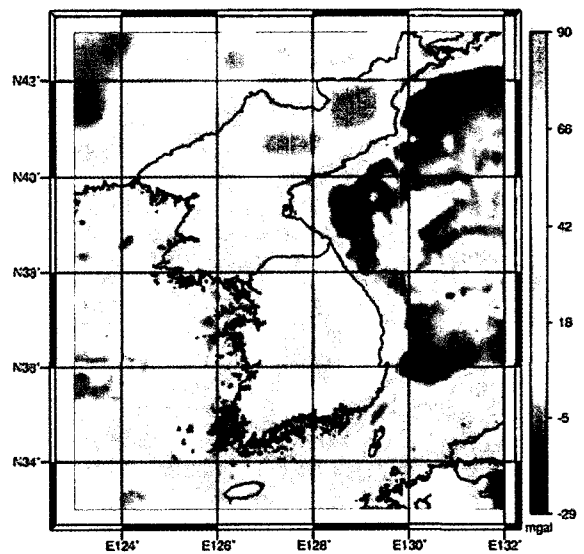
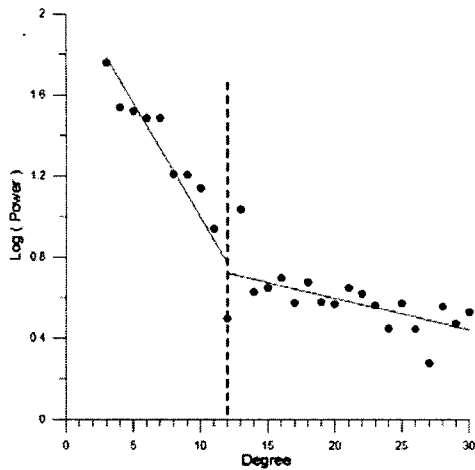
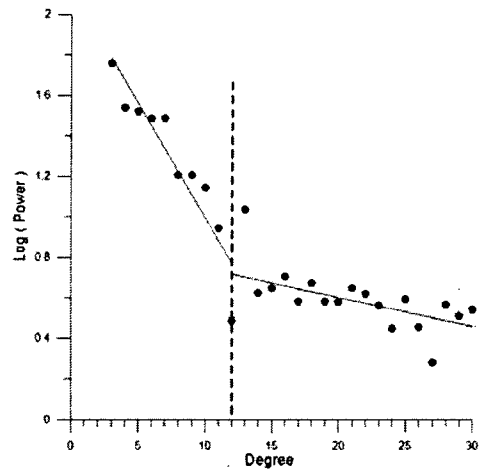


Fig. 4. Gravity anomalies (Smith and Sandwell, 1997).

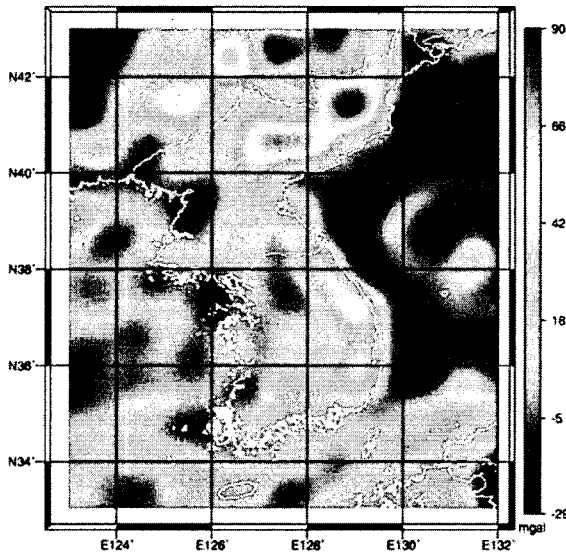
EGM96와 EIGEN-CG01C 모델에 의한 한반도 주변의 중력포텐셜 비교분석



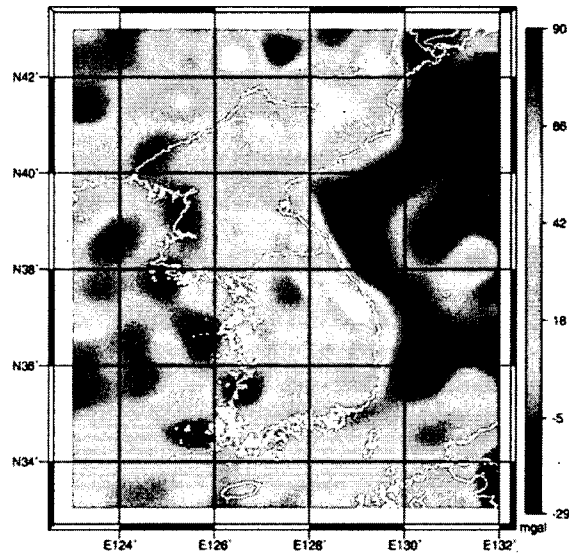
(a) EGM96 model



(b) EIGEN-CG01C model



(c) EGM96 model



(d) EIGEN-CG01C model

Fig. 5. Separation of gravity field. Power spectrum and residual anomaly.

이러한 잔여이상은 지형효과 외에도 지각 내 질량부족 내지는 질량초과의 성향을 반영하므로, 대규모 지구조나 지하자원 탐사에 유용하게 활용될 수 있다. 본 연구에서 계산된 잔여이상은 기존의 중력이상과 각각 0.99(EGM96), 0.98(EIGEN-CG01C)의 상관관계를 보이며, 전체적으로 낮아진 범위로 분포한다(Table 2).

Table 2. Spherical harmonic analysis Results

Model		Min	Max	Mean	S. D.
EGM96	degree ≤ 12	10.06	21.24	17.17	2.86
	12 < degree ≤ 30	-49.38	87.93	1.95	20.56
EIGEN-CG01C	degree ≤ 12	10.07	21.22	17.13	2.87
	12 < degree ≤ 30	-55.70	54.01	1.68	18.52

4. 결론 및 토의

한반도와 인근지역을 포함하는 연구지역에서 EGM96과 EIGEN-CG01C 모델을 이용하

여 지오이드와 중력이상을 계산하고, 비교 검토하였다. 맨틀과 핵으로부터 기인한다고 판단되는 장파장성분의 중력효과를 제거하여 지각 성분의 잔여이상을 계산하였다.

1. EGM96과 EIGEN-CG01C 지오이드와 중력이상 모델은 각각 0.99, 0.92의 상관관계를 갖는다.
2. 두 모델의 신호의 Amplitude는 degree가 높아지면서 EIGEN-CG01C모델이 다소 우세한 경향을 보여주고 있으며, 이는 저고도탐사 자료의 해상도와 관련이 있다.
3. 연구지역의 지오이드 기복은 전반적으로 두 모델 모두 비슷하게 북서방향에서 남동방향으로 서서히 증가하는 경향을 보인다.
4. 중력이상의 경우 EIGEN-CG01C 모델이 EGM96 모델보다 좁은 범위에서 분포하고 있으며, 두 자료에서 수치상으로 가장 많은 차이를 보이는 함경산맥과 개마고원의 북한지역은 중력자료 확보와 지속적인 연구가 필요하다. 또한 황해에서의 다른 자료와의 비교에서 EGM96 모델이 다소 신뢰도가 높은 것으로 평가되었으나, 연구 시기나 사용된 자료를 감안하면 결과를 단정 짓기에는 무리가 있다고 판단된다.
5. Power spectrum 분석을 통하여 대규모 지구조나 지하자원 탐사에 유용하게 활용될 수 있는 잔여이상을 계산하였다. 계산된 잔여이상은 기존의 중력이상과 각각 0.99(EGM96), 0.98(EIGEN-CG01C)의 상관관계를 보이며, 전체적으로 낮아진 범위로 분포한다.

본 연구를 통하여 지금까지 많은 부분에서 활용되고 있는 EGM96모델을 재검토하고, 새로운 중력모델 EIGEN-CG01C를 국내에 처음 소개하였다. 두 자료를 비교, 검토하는 과정에서 북한지역 등 현재 접근이 불가능한 지역과 황해 연안 등지에서의 저고도탐사자료가 요구된다. 이러한 일련의 연구결과들이 GIS DB로 구축되어 통합적으로 관리된다면, 추후 한반도에서 이루어지는 자연환경 및 자원연구를 포함한 많은 지구물리학적 연구에 크게 기여할 것으로 사료된다.

참고문헌

- Lemoine, F.G., Kenyon, S.C., Factor, J.K., Trimmer, R.G., Pavlis, N.K., Chinn, D.S., Cox, C.M., Klosko, S.M., Luthcke, S.B., Torrence, M.H., Wang, Y.M., Williamson, R.G., Pavlis, E.C., Rapp, R.H., and Olson, T.R., 1998, *The Development of the Joint NASA GSFC and the National Imagery and Mapping Agency (NIMA) Geopotential Model EGM96*, NASA/TP-1998-206861, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- Reigber, Ch., Schwintzer, P., Stubenvoll, R., Schmidt, R., Flechtner, F., Meyer, U., König, R., Neumayer, H., Forste, Ch., Barthelmes, F., Zhu, S.Y., Balmino, G., Biancale, R., Lemoine, J.-M., Meixner, H., and Raimondo, J.C., 2004, A High Resolution Global Gravity Field Model Combining CHAMP and GRACE Satellite Mission and Surface Gravity Data: EIGEN-CG01C, *submitted to J. of Geodesy*.
- Heiskanen W. A. and Moritz H., 1967, *Physical geodesy*, W. H. Freeman and company.
- Smith W. H. F. and Sandwell D. T., 1997, Global seafloor topography from satellite altimetry and ship soundings, *Science*, v. 277, p. 1957-1962.