

ArcGP 자료를 이용한 북극 스발바드 군도의 중력특성

유상훈¹⁾, 김창환²⁾, 황종선¹⁾, 민경덕¹⁾

¹⁾연세대학교 지구시스템학과, ysh@yonsei.ac.kr

²⁾한국해양연구원 해저환경·자원연구본부

A Gravity Characteristic of Svalbard Archipelago in Arctic by Using ArcGP Data

Sang Hoon Yu¹⁾, Chang Hwan Kim²⁾, Jong Sun Hwang¹⁾
and Kyung Duck Min¹⁾

¹⁾Dept. of Earth System Sciences, Yonsei University

²⁾Marine Geoenvironment and Resources Research Div., KORDI

요약 : ArcGP 중력자료를 이용하여 다산과학기지가 위치한 북극 스발바드 군도의 중력 특성을 살펴보았다. 지형자료와 유사한 형태로 분포하는 free-air 중력이상에서 보이던 비활성 대륙 연변부의 가장자리 효과는 부계보정 후 보이지 않고, 육상지역의 GTOPO30 지형자료를 이용한 지형보정을 거친 완전 부계 중력이상에서 육상지역에서 해양지역으로 갈수록 중력이상이 증가하는 즉, 모호면의 상승과 관련이 깊은 특성이 관찰된다. 지형으로부터 산출된 중력치와 free-air 중력이상과의 상관관계를 볼 때, 육상지역이 해양지역에 비해 지각평형이 다소 덜 이루어진 것으로 파악되며, 파워스펙트럼 분석을 통해 결정된 절단파수를 이용한 필터링 후 계산된 잔여이상에서 육상지역의 단층대를 따라 발달하는 특징적인 고이상대와 두꺼운 퇴적층에서 기인한 저이상대가 보이고 있다. 또한, 해양 지역 대륙사면의 최하부에서 기반 함몰 내지는 기반암 상부의 두꺼운 퇴적층과 관련이 있는 저이상대가 발달하고 있다.

주요어 : ArcGP, 다산과학기지, 부계보정, 지형보정, 필터링, 잔여이상

Abstract : A Gravity characteristic of Svalbard archipelago in Arctic was studied by using ArcGP data. There are situated the Dasan science station. After bouguer correction, an edge effect of free-air anomaly, which is similar to topography, are not shown at passive continent margin. and after terrain correction with GTOPO30 data, gravity anomaly increases from continent to marine. that is deep connected with rise of Moho discontinuity. The correlation of topography and free-air anomaly shows that the isostasy of continent attains a little less than marine. After filtering, the residual anomaly are shown high and low anomalies related to fracture zone in continent and base depression or thick sedimentary layer in continental slope, marine.

Keywords : ArcGP, Dasan science station, bouguer correction, terrain correction, filtering, residual anomaly

1. 서론

북극은 지구의 기상, 기후, 해류의 순환 등 지구의 환경에 커다란 역할을 하고 있다. 북극권에는 방대한 양의 천연자원이 부존되어 있으며 실제로, 현재 러시아의 가장 중요한 수입원인 석유와 천연가스의 70% 이상이 북극권 시베리아에서 생산되고 있고, 북극해를 포함한 북대서양, 북태평양에서 전 세계 수산자원의 37%가 생산되고 있다. 최근 들어 전 세계적으로 북극의 과학적 가치와 경제적 잠재성이 대두됨에 따라 한국은 남극의 세종과학기지과 아울러 북극의 자연환경 및 자원 연구를 위하여 2002년 4월, 78° 55' N, 11° 56' E에 다산과학기지를 개설하였다. 니알슨(Ny-Alesund)이 위치한 노르웨이령 스발바드 군도(Svalbard archipelago)는 1920년 스발바드 조약에 의거 노르웨이 이외의 서계 40개국 이 이곳 부존자원에 공유권을 행사하는 국제적 성격을 가진 곳이기도 하다. 다산과학기지의 개설과 함께 한국의 북극진출의 교두보를 확보하기 위한 정책적인 노력은 계속되고 있으나, 한국 내에서의 북극권을 대상으로 한 과학적인 연구는 많은 부분에 있어서 미진한 상태이며, 특히 천연자원의 규모 및 부존을 파악하기 위한 가장 확실한 수단임에도 불구하고 북극권에서의 지구물리학적 연구는 거의 전무한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 다산기지가 위치한 노르웨이령 스발바드 군도의 스피츠베르겐 섬을 중심으로 하는 광역적인 연구지역을 설정하고 최근 공개된 ArcGP(Arctic Gravity Project) 자료와 GTOPO30 지형자료를 이용하여 연구지역의 지질환경 및 심부지하구조를 파악하고, 해석하여 향후 활발하게 전개될 북극권에서의 자원탐사분야에 적극적으로 활용될 수 있는 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 연구지역의 지질

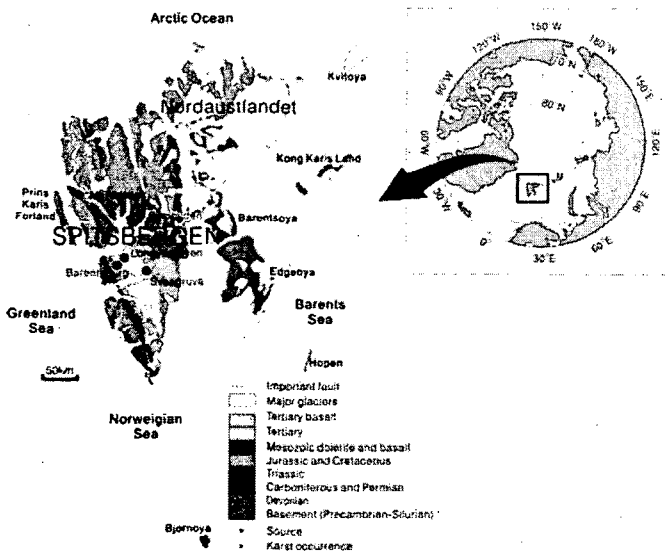


Fig. 1. Geological map of Svalbard in Arctic, released at SOE(State of the Environment) Norway internet homepage, by Norwegian Polar Institute.

스발바드 군도는 매우 다양하고 오래된 지질학적 역사를 가지고 있으며, 아주 다양한 지질이 그곳에 전개되어 있고 또한 그들로부터 많은 것을 배울 수 있는 장소이기 때문에 지질학자들에게는 동경의 땅으로 알려져 있다. 노르웨이 극지 연구소(Norwegian Polar Institute)에서 발간한 스발바드 군도의 지질도에 따르면 노르다우스트란데트 섬(Nordaustlandet island)에는 대부분의 지역이 빙하로 덮여 있으며 선캠브리아기부터 고생대 실루리아기까지의 기반암이 분포하고, 스피츠베르겐 섬에는 선캠브리아기부터 신생대 제3기까지 다양하게 분포한다. 특히 다산과학기지가 위치한 니알슨지역은 석탄기부터 페름기까지의 지질이 분포한다(Fig. 1).

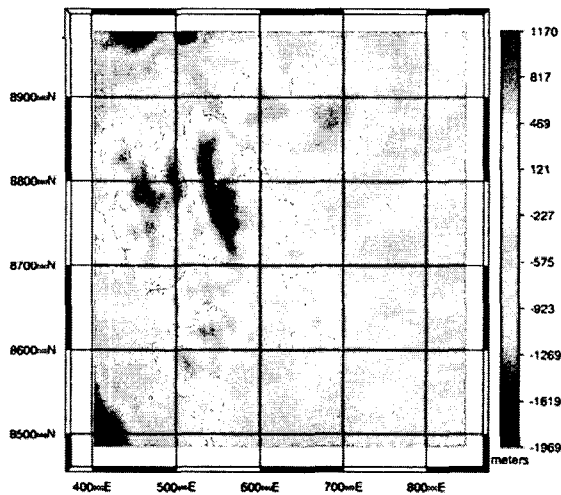


Fig. 2. Integrated topographic map of the study area

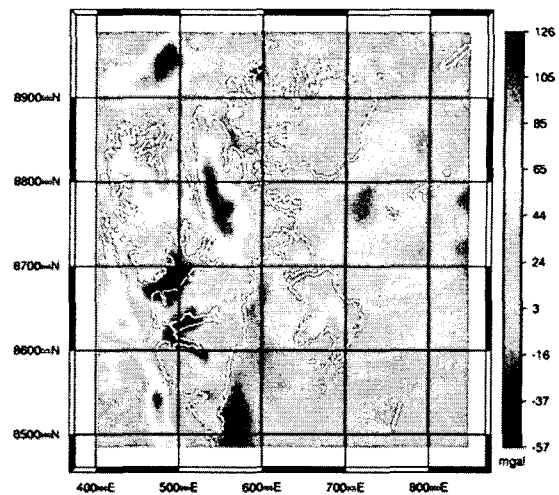


Fig. 3. Released free-air gravity anomaly by ArcGP.

3. 연구자료

3.1. 지형자료

연구지역의 지형자료로 5' × 5' 간격의 ArcGP 수심자료와 육상지역의 USGS의 GTOPO30을 병합하여 WGS84, NUTM33 좌표체계를 기준으로 좌표변환하여 사용하였다. 연구지역인 스발바드 군도는 402,000~848,000m, 8,485,000~8,979,000m에 위치하며, 육상지역의 평균고도는 365.5m, 가장 높은 곳은 1,631m이며, 특징적으로 스피츠베르겐 섬 북부지역이 다른 지역에 비해 고도가 높다. 해양지역의 경우 평균수심은 -173m, 가장 수심이 깊은 곳은 -1,976m으로 북극해(Arctic Ocean)와 그린란드해(Greenland Sea)로 갈수록 깊어진다(Fig. 2).

3.2. 중력자료

ArcGP는 국제측지협회(IAG, International Association of Geodesy) 산하의 국제협력 조합으로 미국, 캐나다, 러시아, 독일, 프랑스, 노르웨이 등 많은 국가들이 64° N이상의 북극권에서 항공, 선상, 육상, 잠수함 등을 이용하여 획득한 각종 탐사자료를 제공하였고, 이 자료를 NIMA(National Imagery and Mapping Agency)에서 병합하여 지난 2002년 6월 공개하였다. 본 연구에서는 ArcGP의 5' × 5' 간격의 free-air 중력이상자료를 지형자료와 동일한 좌표체계로 변환하여 사용하였다(Fig. 3).

4. 연구방법

4.1. 중력보정

free-air 중력이상에는 관측지점과 해수 기준면 사이의 질량의 영향이 내재되어 있으며, 지하 지질에 기인하는 중력효과만을 얻기 위해 해수면 위쪽에 있는 질량에 의한 중력효과를 보정한다. 먼저 해안선을 기준으로 육상지역과 해양지역으로 나누고, 육상지역은 부계판의 밀도를 지각의 평균밀도인 2.67 g/cm^3 로 하고 ArcGP의 고도값을 사용하여 부계보정을 실시하였다. 해양지역의 경우 수심을 두께로 하는 지각의 평균밀도(2.67 g/cm^3)와 물의 밀도(1.03 g/cm^3)의 차에 해당하는 무한 판으로 가정한 부계보정을 적용하였다. 측점과 해수면 사이에 있는 물질을 무한 수평판으로 가정하여 부계 보정을 실시하였다.

그러나 실제 지형은 평탄하지 않으므로 불규칙한 지형에 의한 중력효과를 제거해야 한다. 전통적인 지형보정 방법은 햄머차트법(Hammer, 1939) 등이 있으나, 본 연구에서는 지형보정을 위해 Ma and Watts(1994)의 지형보정 알고리즘을 사용하였다. 측점에서 거리가 50km이상 떨어진 격자의 경우 중력효과가 미약하므로 무시하였고, 해양지역의 고도를 0.0m로 하여 지형보정치를 계산하였다.

4.2. 중력이상의 분리

중력이상은 주파수 영역에서 심부 이상체에 의한 효과가 저주파의 장주기 특성을 갖고, 천부 이상체에 의한 효과는 고주파의 단주기 특성을 갖는다. 본 연구의 목적에 따라 모호면을 경계로 기준면 아래 지각에서 기인한 중력이상 성분과 맨틀과 핵으로부터 기인한 성분을 분리하기 위하여 푸리에 변환을 이용한 주파수대역에서의 필터링을 적용하였다. 필터링을 위한 절단주파수 결정을 하기 위하여 파워스펙트럼 분석을 실시하였다. 일정한 길이의 창(window)을 만들어 파수영역에서 각 창에 해당하는 심도를 구하여 심도변화가 급변하는 지점을 절단파수로 결정할 수 있으며, 본 연구에서는 파수(wave number) 0.13에서 저주파영역에서의 기울기가 약 -44 즉, 평균심도가 약 -22km로 계산되었다. 이 수치는 일반적으로 육상지역의 모호면의 심도가 30km내외, 해양지역에서의 모호면의 심도가 15km내외로 알려져 있는 사실을 감안하면 육상지역과 해상지역이 공존하는 본 연구지역에서의 모호면으로 예상되는 밀도불연속면의 평균 심도값으로 적절한 것으로 판단된다. 따라서 0.13을 필터링을 위한 절단주파수로 결정하였다(Fig. 7).

5. 중력이상의 해석

지형효과를 반영하는 free-air 중력이상은 -63~127mgal의 분포로 연구지역내 육상지역의 저지대에서는 이상값이 낮고, 스피츠베르겐 섬 북부 고지대 등지에서는 이상값이 높게 분포한다. 특징적으로 보이는 스피츠베르겐 섬 북부와 서부 해안을 따라 나타나는 높은 이상값은 전형적인 비활성 대륙 연변부에서의 가장자리 효과로 판단된다(Fig. 3). 단순 부계 중력이상도 기준면 밑에 있는 질량분포의 변화를 반영하여 질량초과는 중력이상에 양의 변화를 주고, 질량부족은 음의 변화를 일으킨다. 또한 단순 부계 중력이상은 기준면 윗부분의 질량에 의한 인력이 제거되었기 때문에 육상지역의 경우, 단순 부계 중력이상값은 free-air 중력이상값보다 작다(Lillie, R.J., 1999). 단순 부계 중력이상은 -79~68mgal의 분포를 보이며, 육상지역 대부분의 넓은 지역에서 낮게 분포하고, 심해저로 갈수록 높은 값을 보이는데, free-air 중력이상에서 보이던 비활성 대륙 연변부의 가장자리 효과는 부계보정 후 더 이상 나타나지 않는다(Fig. 4).

Ma and Watt(1994)의 지형보정 알고리즘을 이용하여 각 측점에서의 지형보정값을 구하여 지형보정을 실시하였다. Fig. 5는 측점에 대한 지형보정치를 구하고 격자화 시켜 표현한 그림으로, 최소 0.0mgal에서 최대 30.1mgal로 평균값은 0.76mgal이다. 산악지역과 같이 지형변화가 심한 곳에서의 보정값은 크고, 측점주위의 고도가 300m이내이며 지형변화가 작은 지역에서는 보정값이 낮다. 완전 부계 중력이상은 -84~252mgal의 분포를 보이며, 평균 20.2mgal이다. 육상지역의 경우 -84~70mgal의 분포를 보이며, 평균 -12.5mgal이다. 완전 부계 중력이상에서도 육상에서 해양으로 갈수록 그 값이 서서히 높아지는 것을 볼 수 있으며, 이러한 현상은 맨틀과 지각의 경계인 모호면의 상승과 관련이 깊다(Fig. 6). 일반적으로 어떠한 임의의 지역이 지각평형을 이루고 있다면 free-air 중력이상과 지형으로부터 계산된 중력이상 사이의 상관관계가 매우 낮게 나타

나야 하는 데, 본 연구의 경우 육상지역은 0.087, 해양지역은 0.032로 나타났다. 이에 따르면 육상지역이 해양지역에 비해 지각평형이 다소 덜 이루어진 것으로 파악된다.

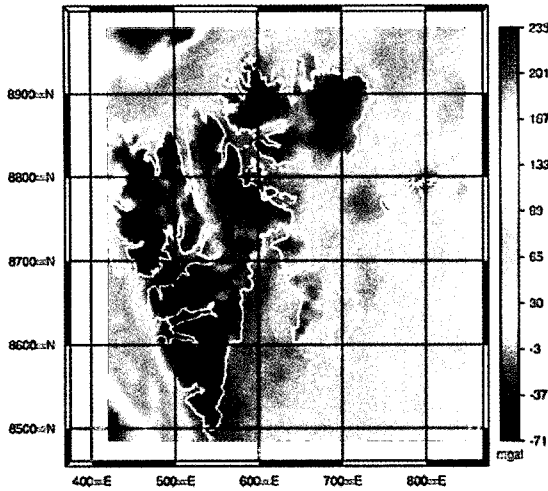


Fig. 4. Bouguer gravity anomaly.

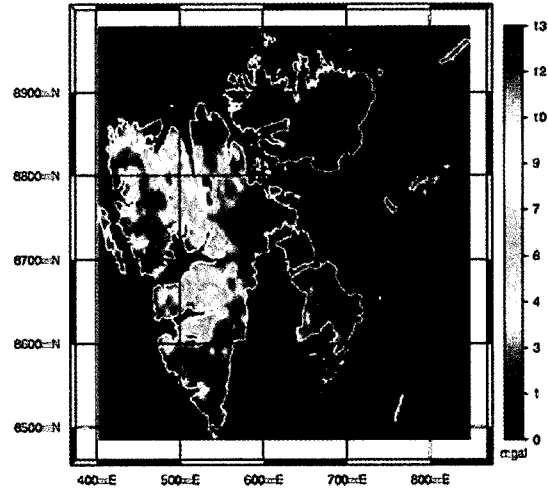


Fig. 5. Terrain gravity effects.

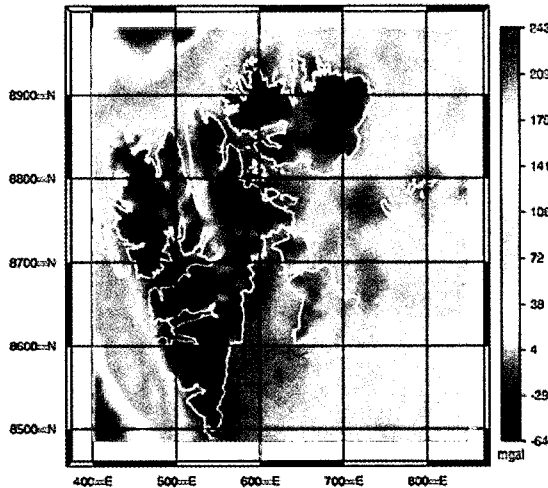


Fig. 6. Complete bouguer gravity anomaly map.

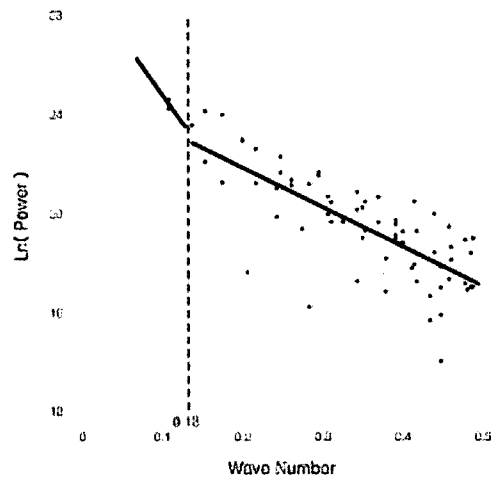


Fig. 7. Power spectrum analysis.

깊이에 따른 중력효과, 즉 지각성분에서 기인한 중력효과만을 추출하기 위하여 파워스펙트럼 분석을 통해 결정된 0.13을 절단파수로 필터링을 실시하였다(Fig. 7). 잔여이상은 지각으로부터 기인한 성분으로 질량부족 내지는 질량초과의 성향을 그대로 반영하므로 대규모 지구조나 지하자원 탐사에의 활용에 유용할 것으로 사료된다. 잔여이상은 완전부계 중력이상과 0.49의 상관관계를 보이며, 전체적으로 낮아진 범위로 분포한다(-80~131mgal, Fig. 8). 지질도 및 지진파 속도 구조 모델인 CRUST2.0 (Bassin, C. et al., 2000, Fig. 9)의 지각 두께 분포와 비교하여 볼 때, 스피츠베르겐 섬 서쪽 해안을 따라 나타나는 저이상대는 다른 지역에 비해 상대적으로 두꺼운 퇴적층의 저밀도에서 기인한 것으로 판단되며, 빙하로 덮인 스피츠베르겐 섬 동부의 일부지역과 노르다우스트란데트 섬에서 저이상대가 나타난다. 이는 부계보정시 평균밀도를 빙하의 밀도를 감안치 않고 지각의 평균밀도 이용함으로써 생긴 과보정현상일수도 있다. 스피츠베르겐 섬 북부에서 중부로 이어지는 남북방향의 고이상대는 이 지역 심부에 질량초과 물질의 존재를 암시한다. 이 고이상대가 지질도상에 표기된 단층대를 따라 발달하고 있음을 감안한다면 지하심부의 고밀도 물질이 단층대를 따라 관입하였을 가능성도 배제할 수는 없다. 연구

지역 내에서 대부분의 해양지역은 대체적으로 안정된 경향을 보여주고 있으며, 연구지역 남서쪽 해양 대륙사면의 최하부에서 보이는 저이상대는 기반 함몰대와 기반암상부의 두꺼운 퇴적층과 관련이 있다.

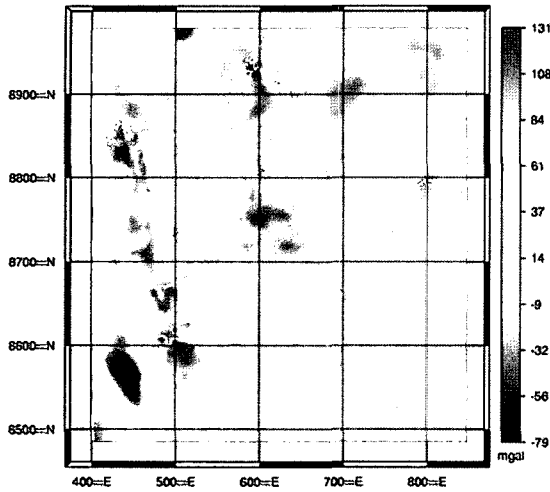


Fig. 8. Residual gravity anomaly.

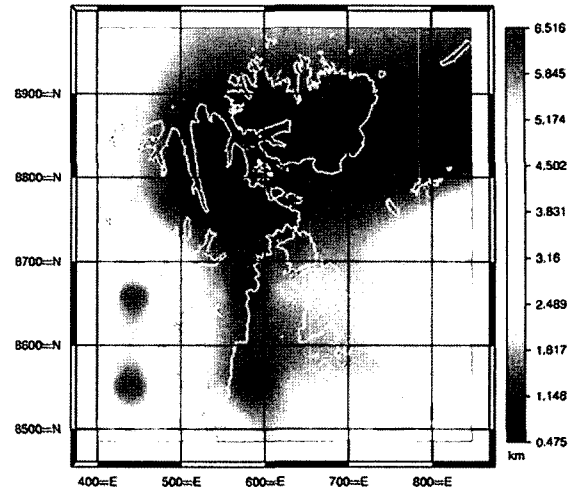


Fig. 9. Sediments thickness calculated by CRUST2.0 model (Bassin, C. et al., 2000).

6. 결론 및 토의

한국의 다산과학기지가 위치한 북극의 스발바드 군도의 중력특성을 살펴보았다.

1. free-air 중력이상은 지형효과를 잘 반영하고 있으며, 지형보정 중력치와의 상관관계 분석을 통해 연구지역 내 육상지역이 해양지역에 비해 지각평형이 다소 덜 이루어진 것으로 나타났다.
2. 해양지역은 대체적으로 안정돼 있으나, 서쪽 해양의 경우, 대륙사면 최하부의 기반 함몰대 또는 두꺼운 퇴적층과 관련된 저이상대와 모호면의 상승과 관련된 특징을 보여주는 고이상대가 발달한다.
3. 잔여이상에서 스피츠베르겐 섬에서의 저이상은 대부분 두꺼운 퇴적층의 저밀도에 기인한 것으로 파악되며, 단층대와 관련이 있어 보이는 고이상대가 관측되었다.

중력자료를 이용한 본 연구는 앞으로 다양한 지구물리자료들과 함께 통합, 해석되어야 할 것이다. 나아가 북극의 다양한 연구들이 GIS DB로 구축되어 통합적으로 관리된다면, 추후 활발하게 전개될 북극의 자연환경 및 자원연구에 많은 도움이 될 것이다.

참고문헌

- Norwegian Polar Institute, 2002, Geological map of Svalbard in Arctic. http://www.environment.no/templates/PageWithRightListing___2815.aspx.
- Hammer, S., 1939, Terrain correction for gravimeters stations. *Geophysics*, vol. 4, p. 184-194
- Lillie, R.J., 1999, *Whole Earth Geophysics: An Introductory Textbook for Geologists and Geophysicists*. Prentice hall Inc, p. 230-231.
- Ma, X.Q. and Watts, D.R., 1994, Terrain correction program for regional gravity surveys. *Computer & Geoscience*, vol. 20, no. 6, p. 961-972.
- Bassin, C., Laske, G., and Masters, G., 2000, *The Current Limits of Resolution for Surface Wave Tomography in North America*. Eos Trans AGU 81, F897.