

北極・ニーオルスンでの超伝導重力観測

福田洋一（京都大学大学院理学研究科地球物理学教室）

アムステルダムから、オスロ、トロムソと航空機を乗り継ぎ、ロングヤービエンに到着したのが白夜の1時30分。翌朝、チャーター便でニーオルスンに入る予定が、その日は霧でフライトがキャンセルになり、結局一日遅れの到着であった。高台にある滑走路から見下ろす基地は、道路は除雪されているものの、まだ一面雪景色で、幾分海氷の残っている海の青さとのコントラストが絶妙な美しさであった。昨年（2000年）の5月に超伝導重力計の保守と観測維持のため、ニーオルスンの観測拠点を訪れたときのことである。

ニーオルスンでの超伝導重力観測は、GGP(Global Geodynamics Project)-Japanの第7番目の観測点として、1999年の9月に、OHP(Ocean Hemisphere Project)の援助の元、佐藤忠弘さん（国立天文台水沢）らの手によって開始されたものである。超伝導重力計観測やGGPに関する詳しい解説は、月刊地球（海洋出版）の「超伝導重力計ネットワーク」特集号（Vol. 242, 1999）、あるいはEOSの関連記事（Vol. 80, No. 11, 1999）を、またニーオルスンでの超伝導重力観測の詳細については、名和ほか（月刊地球, Vol. 259, 33-39.）をご覧ください。ここでは超伝導重力計観測の目的、最近の成果、また、ニーオルスンで観測が開始されるようになった経緯や現状などについてごく簡単に紹介したい。

重力計と聞いてまず多くの方が思い浮かべるのは、ラコスト重力計に代表されるような携帯型のものではなからうか。これらは、主に、野外調査で地下の密度構造を決めるために用いられている。重力を計ることの目的はこれ以外にも色々あり、それぞれの目的に応じて幾つかの種類の重力計が存在している。ここで紹介する超伝導重力計は、機能で分類すると、設置場所を移動することはできず同じ場所での重力の時間的変化だけを測定する据え置き型の相対重力計ということになる。

重力が時間的に変化する理由には幾つかあるが、最も振幅が大きいのは地球潮汐による変化である。地球潮汐とは、潮の干満と同じく、月や太陽などの引力を力源とし地球の重力ポテンシャルや形状などを変化させる現象の総称で、とくに重力の変化を重力潮汐と呼んでいる。潮汐観測では、力源である天体の運行（入力シグナル）が大変正確にわかっていることから、それに対する地球の応答（出力シグナル）を得ることで、地球内部の弾性的あるいは粘性的な性質を知ることができる。これは、据え置き型相対重力計による観測の最も重要な目的の一つであるが、超伝導重力計が一般に利用できるようになる1980年代末頃までのバネ式重力計では、日周や半日周での振幅の大きな波（主要分潮）について、そのファクター（剛体地球と弾性体地球との重力変化の比で地球の弾性的性質の指針となる）を決めるのがやっとといったところであった。このような状況は、高感度（ $1\text{ngal}=1\times 10^{-11}\text{m/s}^2$ 以上の検出精度）と長期安定性（数 $\mu\text{gal/year}$ 程度の機械ドリフト）を兼ね備えた超伝導重力計の出現により大きく変化し、最近の重力潮汐観測では、ファ

クターの緯度依存性に関する研究，位相のズレから地球内部の粘性に関する研究，日周潮汐に現れる流体核共鳴からコア・マントルカップリングに関する研究など，その研究対象を大きく広げている．

ところで，加速度計測の立場からは，重力加速度と地震動による上下加速度とは周波数帯の違いだけであり，広帯域での観測が可能な超伝導重力計は極めて高感度な長周期上下動地震計としても利用可能である．このような特性を活かした最近のトピック的な研究として，常時地球自由振動の発見（Nawa *et al.*, PEPI, **120**, 289-297, 2000）がよく知られている．これは，大地震でしか励起されないとされていた地球の自由振動が，おそらくは大気の運動を励起源として常時起こっているというもので，1990年代になされた地球科学上の発見の内でも最も重要なものの一つと考えている．この発見のきっかけとなったのは南極昭和基地での超伝導重力観測であった．

一方，超伝導重力計の長期安定性を生かし，現在では，長周期の重力変化も重要な研究対象となっている．例えば，14日（Mf）以上の長周期潮汐はもちろん，極運動に伴う重力変化（瞬間自転軸の揺らぎにともなう遠心力変化の鉛直成分）のように，従来，理論的にはわかっていたものの，とても観測は不可能と思われていた現象も，最近の超伝導重力観測では当然のように捉えられるようになってきている．また，今のところ年周項のみであるが，海洋運動に伴う質量変化に起因する重力変化が，昭和基地，オーストラリア，江刺（日本）の超伝導重力計で観測されている（Sato *et al.*, PEPI, **123**, 45-63, 2001）．地上での重力観測によって，潮汐現象以外の長周期の海洋変動が捉えられたのはこれが歴史上初めてのことである．大気，海洋，陸水，氷床など，地球表層流体の動きを重力の変化としてモニターしようという発想は，今年の秋に打ち上げが予定されている GRACE を筆頭に，21世紀の地球科学に革新をもたらすであろう今後の衛星重力ミッションの基本的なアイデアに通ずるものであり，地上観測でその可能性を実証したことの意義は極めて大きい．

このように，超伝導重力計観測は，地球潮汐観測の精密化と同時に，従来予想も出来なかったさまざまな方面で成果をあげつつあり，これらの研究を国際協力のもとに一層推進させようというのが GGP の趣旨である．また，GGP-Japan は，我が国が設置した観測点の維持やデータ交換などを目的とした国内の研究者による連絡組織であり，ニーオルスンは，昭和基地，キャンベラ（オーストラリア），バンドン（インドネシア），京都，松代，江刺に続く GGP-Japan の第7番目の観測点である．従来，超伝導重力観測点は，ヨーロッパ，日本，北米を中心とする北半球の中緯度地域に偏在していたが，地球規模の現象，特に緯度依存性を持つような現象の研究には，南北に展開した観測点配置が不可欠なことは自明であろう．このような観点から，国立極地研究所をはじめ我が国の関連機関の研究者が協力し，1992年から1993年にかけて，まず，昭和基地での観測を開始した．その後，キャンベラ，バンドンと観測点の展開を進め，ニーオルスンの観測点で緯度方向の観測網の展開は一応完成した．このような我が国の活発な活動に刺激され（実際，GGP-Japan は GGP 全体の約 1/3 の観測点を維持している）諸外国でも南アフリカや南米で新たな観測を開始，

あるいは計画していることは喜ばしいことである。

ニーオルスンの超伝導重力観測は、このように地球規模での観測網の一翼を担うとともに、特に対極に位置する昭和基地での観測と連携し、両者のデータから、地球内核の並進運動や流体核での内部重力波に伴う重力変化を検出しようという野望も秘められている。もしこれらが実現すれば、21世紀の初頭を飾る大発見となることであろう。また、ニーオルスンの地理的な位置から、ポストグレースナル・リバウンドに伴う経年的な重力変化の検出にも期待が寄せられている。そのためには、単に重力を測定するばかりでは不十分であり、VLBI や GPS など宇宙測地技術による位置変化の精密観測や、現地での検潮観測など、総合的な観測が重要である。昭和基地はこれらの観測項目の整った代表的な観測点の一つであるが、同様に、ニーオルスンの観測基地もこれらの条件を良く満たしている。さらに、経年的な重力変化の検出のためには定期的に絶対重力測定を実施することが重要であり、ニーオルスンでは、GGP の研究協力のもと、昨年夏にはフランスの研究者の手で絶対重力測定が実施されており、引き続き本年もドイツの研究者による測定が予定されている。我が国としても、今後、昭和基地ともども、ニーオルスンでの絶対重力測定が継続的に実施できるように努力する必要がある。

このように夢と期待の膨らむ超伝導重力観測であるが、その観測維持に手間のかかることも事実である。超伝導重力計の維持で最も重要な作業の一つは、極低温状態を保つための液体ヘリウムの補給であり(写真)、我々は、重力計に「エサをやる」といっている。この作業は、通常、国内では最低2人一組で実施しているが、今回は、日本から私一人の参加であったので、まず最初に、現地で手助けをしてくれるノルウェー地図局の常駐研究者(VLBI 観測などのために3名が常駐している)に作業のビデオをみせ、その概要をつかんでもらうことから始めた。彼らは大変優秀で、作業の要点もすぐに飲み込んでくれた。また、直接手助けしてくれたヘルゲさんは、かなりの大男で(私も日本人としては決して小柄ではない)私が脚立を使わないと出来なかった液体ヘリウム容器の液面のチェックを脚立なしで済ませるし、重力計本体についているコールドヘッドと呼ばれるかなり重い冷却機の取り外しも難なくこなす。なるほど、こういうところでは大男は美德だなと思うとともに、私は随分楽をさせてもらった。ヘルゲさんたちのおかげで、液体ヘリウムの補給をはじめ、新しい温度計の取り付け、冷却機の移設、その他予定していた仕事もすべて順調に終わることができ、日曜日の午後には、ヘルゲさんたちの誘いで、スノーモービルでツーリングに出かける余裕もできていた。

あっという間に過ぎてしまった一週間、月曜日の朝、喧騒の日本へ帰ることを思うと、霧で飛行機が来なければいいのにとひそかに期待したものの、重力計室のすぐまへの滑走路にはすでに帰りの飛行機が到着していた。最後になったが、ニーオルスンやロングヤービエンでの宿泊施設の利用、チャーター便の予約等で北極圏環境研究センターの森本真司さんには大変お世話になった。記して謝意を表する次第である。



写真の説明：液体ヘリウム補給中の超伝導重力計．

写真左より重力計制御装置，超伝導重力計本体，液体ヘリウム輸送用デュアー，
データ収録用パソコン．

観測室外には，冷凍機コンプレッサー，コンプレッサー冷却用チラーなどがある．