

絶対重力計測の現場から ―屋外計測・輸送編―

杉原光彦¹⁾

1. はじめに

我々が所有している絶対重力計 FG5/217 による計測現場について、これまでに 2 回、報告した(杉原, 2010; 杉原, 2016)。今回は CCS (二酸化炭素の回収と貯留) プロジェクト現場での計測経験から屋外計測と機材輸送の話題について述べる。二酸化炭素地中貯留のモニタリング手法の一つとして重力モニタリング法がある。私たちは高感度重力連続測定を提案して試行してきた。連続測定に使用する超伝導重力計は相対重力計であるため、ドリフトと感度を定期的に検定しておくことが望ましい。そのためには超伝導重力計と絶対重力計を隣接した状態で並行測定するのが標準的な手法である。CCS 現場への適用は、まず米国での共同研究に加わる形で米国の調査地(第 1 図)で行い(相馬ほか, 2014)、その後、国内の実証試験地の苫小牧での適用を開始した。長期間にわたる重力変化を評価するためには絶対重力測定データ自体も有効な情報となる。

2. 米国 CCS テストサイトでの計測

米国での共同研究では当初計画された調査地はユタ州ゴードンクリークだった。スケジュールが米国内の事情で



第 1 図 米国の計測点位置図。スコットランド CCS の Web サイト (<http://www.sccs.org.uk/expertise/global-ccs-map>) による CCS プロジェクト進行状況マップに加筆した。風船印はプロジェクト位置。ユタ州ゴードンクリーク(中止・休止)とテキサス州ファンズワース(実施中)で計測した。

遅れる中で我々は年次計画に従って計測準備を進めたところ、重力計測用基台の設置、観測小屋の設置、超伝導重力計の搬入、重力計測開始という手順の途中で、基台設置段階で一度、絶対重力計測を行うことになった。観測小屋が設営される前なので屋外計測になること、コロラド州デンバー近郊にある絶対重力計の製造会社から現場が近いことから、屋外計測用絶対重力計 A10 による計測(Kazama et al., 2013 など)を製造会社に外注して行った(第 2 図)。重力計を輸送してきた車は計測室も兼ねていた(第 3 図)。計測当日は降雪だったが計測車の使用によって良好な計測環境が維持された。重力計本体は小型で耐環境性を有するが、防風防雪のためにテントで囲って行った。

その後に米国側の政策変更に伴い、調査地がテキサス州ファンズワースに変更となった。我々もユタ州ゴードンクリークから観測点を移設した。ファンズワースに観測小屋を設置して 2012 年 12 月に超伝導重力計を搬入して計測を開始した。絶対重力計による最初の並行測定は 2013 年 1 月に行った。屋内計測環境が整っていたので、我々が所有する絶対重力計 FG5/217 を使用した。

FG5/217 は 2001 年に導入して以来、基本的に毎年 1 回はコロラド州にある製造会社で点検を行っている。機材輸送直後に微調整が必要となる事態が時々発生していたので、その煩わしさを避けるために製造会社からファンズワースまでの輸送と最初の立ち上げは製造会社に外注した。製造会社からファンズワースまでが 1 日行程で移動経費が大きくないことも費用対効果に有利だった。製造会社の熟練者による輸送と設置作業を見学して今後の測定に役立てたいという思惑もあった。到着した輸送車は恐らくゴードンクリークでは計測用に使用していた車と同種の車両であったが、A10 使用時のような計測用車両には見えなかった。A10 使用時には A10 用収納ケース等も活用して車内に計測器を配置していたが、それが無ければ特殊車両というわけではない。しかし機材を固定したり給電する便はあった。機材をベルトで固定したり、機材の間に緩衝剤をはさむなどして精密機器に輸送中のダメージを与えない配慮も窺えた(第 4 図)。

1) 産総研 地質調査総合センター地圏資源環境研究部門

キーワード: 絶対重力計測, 野外計測, 機材輸送, CCS, 重力モニタリング



第2図 ユタ州ゴードンクリークでの可搬型絶対重力計 A10 による計測風景。



第3図 ユタ州ゴードンクリークでの絶対重力計測時、車両を計測基地として使用。



第4図 テキサス州ファンズワースでの絶対重力計の積込状況。

3. 苦小牧での計測

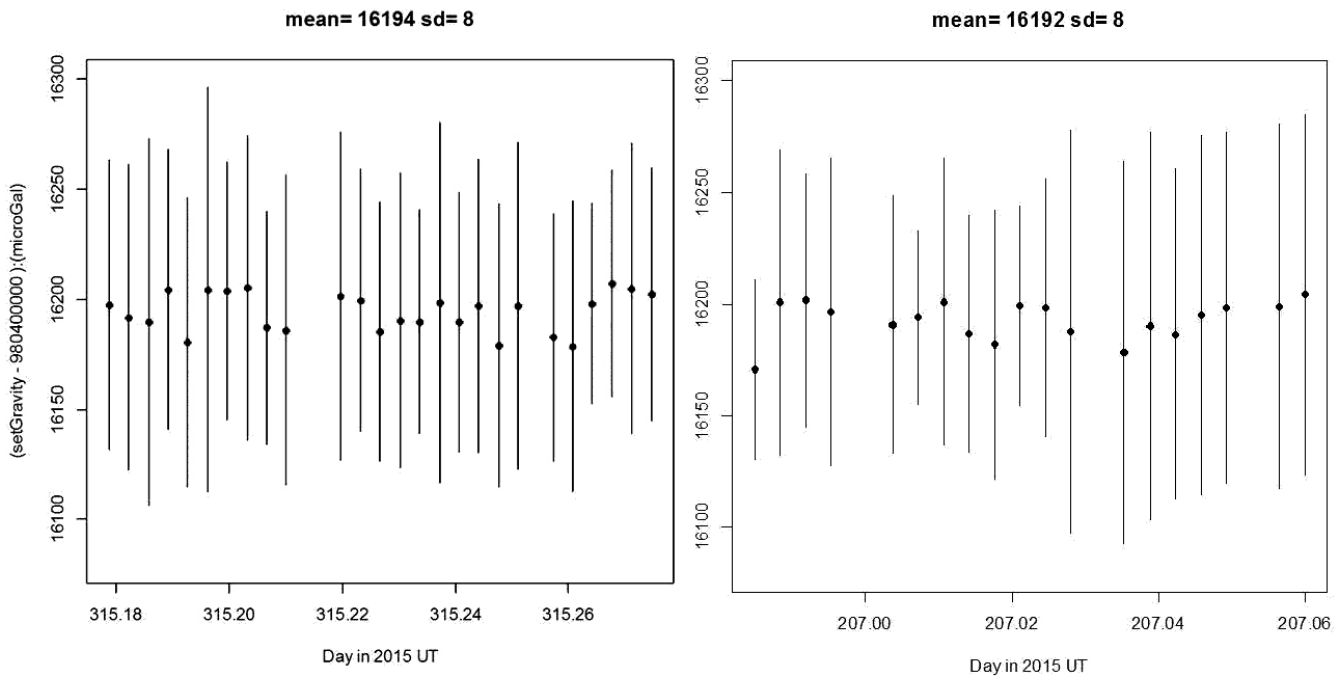
苦小牧の計測点は屋外に設けた計測用基台である。様々な理由で観測小屋の設置あるいは既存建屋の利用は困難だった。我々が所有する絶対重力計 FG5/217 は屋内用の精密機器なので、本来はユタ州ゴードンクリークでのように屋外用絶対重力計 A10 を測定には使用するべきである。しかし A10 による日本での計測を外注すると米国内での計測に比べて費用が格段にかさむ。並行測定の主目的は、超伝導重力計のドリフト評価である。超伝導重力計は1か月のドリフトが0.5マイクロガル以下と極めて小さい。これに対して絶対重力計 FG5 の公称精度が2マイクロガルなので、超伝導重力計のドリフトを評価するための並行測定は半年に1回、実施できればよいことになる。冬期間でなければ屋外でも計測可能温度条件は保たれる。苦小

牧の計測点は海岸に近いので海岸特有の風の影響も懸念材料だが、条件の良い時を選べば実施できる可能性はある。ということで、当面は FG5/217 を使うことにした。無風か微風で降雨の恐れがない時に計測を試みたが計測値は大きくばらついた。テントを張って、その中で実施したら(第5図)、安定的に使える計測値が得られた(第6図)。1日のうちに設置撤収して日中だけ計測するのでは評価のために十分な計測回数には達しないが、日数をかければ十分なデータが得られる見通しが立った。

産総研から苦小牧への絶対重力計の輸送には大洗港からのフェリーを利用している。約1時間の運転で大洗港に到着できるのは有難い。しかし関東から北海道までの絶対重力計の輸送の際に仙台港からのフェリー、または八戸港からのフェリーを利用する機関もある。運転リスクと航行中のリスク評価の判断の違いだろうか、いずれのルートでも太平洋を航行するフェリーは使うのだから荒天による欠航の可能性の差は小さい。自動車とフェリーでは輸送中の振動条件は異なるが、フェリー輸送の方が事故の危険は少ないように思える。運転時間と航行時間の長さのバランスの判断の違いだろうか。航送中に一つ気になるのは給電の問題だ。絶対重力計で安定な計測を行うためには真空を維持して輸送するのだが、イオンポンプコントローラへの給電が必要である。外部電池との接続が緩み、内部電池の容量が不足するとアラームが鳴る。航行中は車両デッキには立ち入ることができないので、航行中は電源チェックができない。しかし接続と電池容量を確認していれば電源消失の危険性は少ないので運転時間を最小にするルートとして大洗-苦小牧フェリーを私は選択している。



第5図 苫小牧での計測風景。テント未使用時（上）と使用時（下）。



第6図 絶対重力計測結果。左は2015年7月26日、右は11月11日。各々1 Setごとに28Dropと29DropずつのSet値を示した。1日のSet値の標準偏差はいずれも8マイクロガルで、両者の平均値の差は2マイクロガル。11月にもテントを使用することで7月の好条件時と同等の計測を行うことができた。

4. むすび

大洗 - 苫小牧間は夕方便と深夜便がほぼ毎日 1 便ずつあり、合計 4 隻のフェリー船が就航している。2015 年 7 月に深夜便で火災が発生し乗員の方 1 名が殉職された。被災船修理中は変則的に夕方便が隔日運航となったので夜行便を利用する機会が生じ、夕方便とは違う風景を見られた。早朝、本州最東端のトドヶ崎に近づいたので、よりよく景色を眺めるために船室から甲板に向かった。移動途中で目に入った新しい掲示の発信者には火災後復旧修理中の船の名前もあった。フロントで聞くと復旧にはまだ時間がかかるということだったが、4 船名併記の掲示に連帯感を感じた。トドヶ崎は鮭ヶ崎と漢字表記する。見慣れない文字だが、大型海棲哺乳類ではなく魚の名前だ。出世魚ボラの最後の名前で「トドのつまり」のトドだ。海岸段丘に建てられた白い灯台が印象的だった。トドヶ崎沖を過ぎて、半島の南側には入り江が見えた(杉原・山口, 2016)。奥には姉吉地区があるはずだ。姉吉地区は 2011 年の大津波の際に死者がなかったことが有名だ。明治・昭和と 2 回の大津波で非常に多くの犠牲者を出した後、その教訓を刻んだ石碑の教えに従い、住居を高台に設けていたからだ。しかし生産の場は海岸なので、津波の被害を受けて復興中だという(松本, 2012)。フェリーの航跡の先に小さく見えるトドヶ崎灯台を眺めていると古歌を思い出した。「世の中を何にたとへん朝ぼらけ漕ぎゆく舟の跡のしら浪」。振り返って進行方向を見ると太陽は高く上がっていた。振り返り見すれば日東渡^{ひはまたのぼる}。三陸海岸での津波被災からの復興、そしてフェリー火災後の復旧への思いを胸に刻んだ。

文献

- Kazama, T., Hayakawa, H., Higashi, T., Ohsono, S., Iwanami, S., Hanyu, T., Ohto, H., Doi, K., Aoyama, Y., Fukuda, Y., Nishijima, J. and Shibuya, K. (2013) Gravity measurements with a portable absolute gravimeter A10 in Syowa Station and Langhovde. East Antarctica, *Polar Science*, 7, 260-277.
- 松本健一 (2012) 海岸線は語る。ミシマ社, 東京, 224p
- 相馬宣和・杉原光彦・石戸経士・名和一成・西 祐司 (2014) CO₂ 地中貯留のための多面的モニタリング技術の検討。GSJ 地質ニュース, 3, 137-142.
- 杉原光彦 (2010) 絶対重力計測の現場から。地質ニュース, no. 665, 53-62.
- 杉原光彦 (2015) テキサス州ファンズワースでの重力計測の手記。GSJ 地質ニュース, 4, 251-258.
- 杉原光彦 (2016) 絶対重力計測の現場から 一神岡編一。GSJ 地質ニュース, 5, 9-20.
- 杉原光彦・山口 靖 (2016) フェリーからの風景, 苫小牧と本州最東端の鮭ヶ崎。GSJ 地質ニュース, 5, 71.

SUGIHARA Mituhiko (2016) A field report of absolute gravity measurements, Episode III, outdoor measurement and transportation.

(受付: 2016 年 2 月 5 日)