

東京スカイツリーを利用した相対論的測地効果検証のための比高観測

実施期間	平成 30 年度	
測地部物理測地課	大森 秀一	吉樂絵里香
	兒玉 篤郎	富山 顕
測地部	河和 宏	
企画部測量指導課	矢萩 智裕	
地理地殻活動研究センター	小門 研亮	
	宇宙測地研究室	

1. はじめに

国土地理院では、東京大学及び理化学研究所（以下「東大/理研」という。）が東京スカイツリー（以下「スカイツリー」という。）で実施した光格子時計を用いた相対論的測地効果の検証実験に参加し、スカイツリーの 1F と H450（地上 450m のフロアを「H450」とし、他のフロアも同様に表す。）に設置された光格子時計間の比高及び重力ポテンシャル差を測定する作業を平成 30 年 10 月から平成 31 年 1 月にかけて実施した。

2. 測定方法の概要

比高の測定は大きく分けて 2 通りの方法で実施した（図-1）。1 つ目は、GNSS 測量と水準測量を組み合わせた方法である。まず、GNSS 測量によりスカイツリー屋上（H458）及び地上の GNSS 観測点間の楕円体高差を測定し、水準測量で測定した H450 光格子時計と屋上 GNSS 観測点間及び 1F 光格子時計と地上 GNSS 観測点間の比高差を引いて、1F と H450 の光格子時計間の比高を求めた。なお、スカイツリー直下で別途 GNSS 測量及び水準測量を実施し、地上 GNSS 観測点間とのジオイド比高を求めて加味している。2 つ目は、トータルステーション（TS）による鉛直方向の距離観測と水準測量を組み合わせた方法である。スカイツリーの心柱部分には非常階段に沿っていくつかの吹き抜けがある。その部分の比高を TS で測定し、測距できない区間は水準測量及び東大/理研が測定した各フロアの床板の厚み等を加味して求めた。最終的な光格子時計間の重力ポテンシャル差を求めるため、一等重力点「筑波」を起点とした相対重力測量も GNSS 測量とは別に実施している。

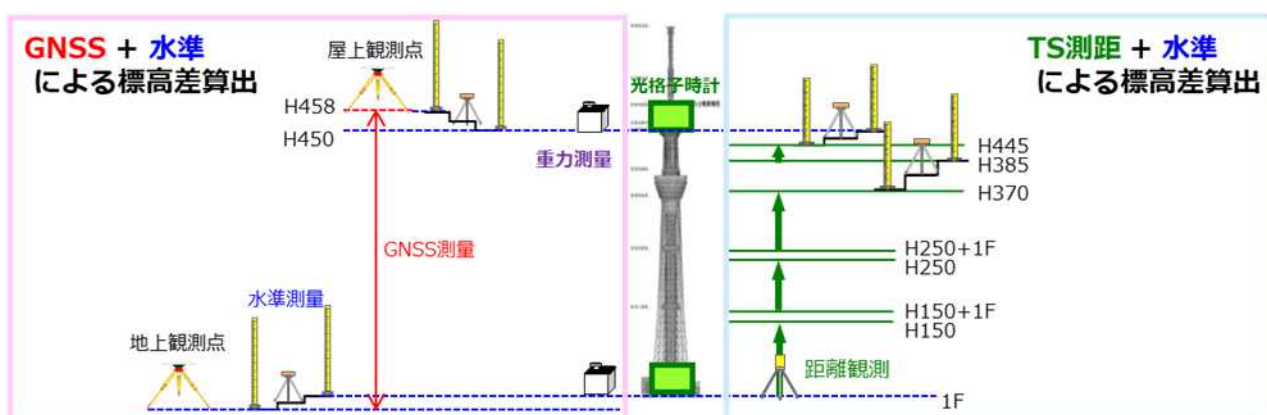


図-1 比高測定の方法の概要

3. 結果

3.1 GNSS 観測

平成 30 年 10 月 23 日から 26 日に実施した GNSS 観測データのキネマティック解を図-2 に示す。H458 において、水平方向に最大 20cm 程度の日周運動が観測され、太陽の日射に伴うスカイツリーの熱膨張によるものと考えられる。ただし、これらの水平変動が鉛直方向に与える影響はコンマ数 mm 程度で十分無視できるものである。

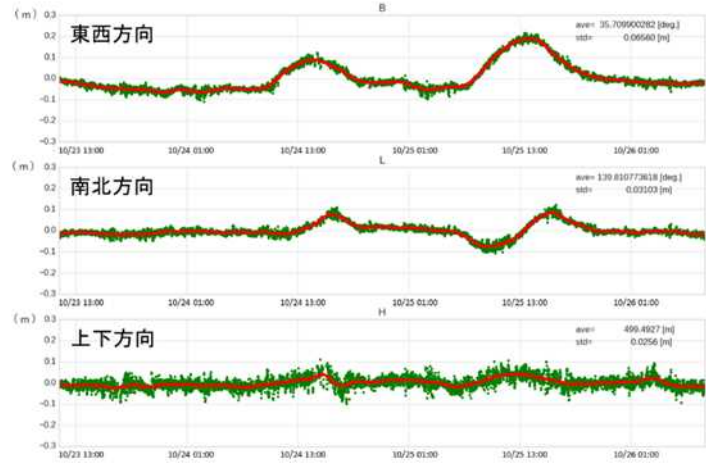


図-2 H458 のキネマティック解析結果
(2018/10/23-26)

3.2 光格子時計間の比高

2.の各手法で算出された光格子時計間の比高を表-1 に示す。GNSS 測量による楕円体高差は、72 時間の観測データをキネマティック解析で処理した平均値である。各測定方法による比高差は 4cm 以内に収まる結果となった。

表-1 比高の算出結果の比較 (単位 : m)

自	至	GNSS+水準	水準+測距	観測手法
地上観測点	～ 屋上観測点(H458)	460.6346		GNSS 測量
ジオイド高差		-0.0218		GNSS 測量・水準測量
屋上観測点(H458)	～ H450 光格子時計	-5.6092		水準測量
H445	～ H450 光格子時計		6.6368	水準測量
H445			0.15	東大/理研測定
H385	～ H445		60.212	TS による測距
H370	～ H385		15.0505	水準測量
H370			0.009	東大/理研測定
H250+1F	～ H370		117.602	TS による測距
H250	～ H250+1F		2.203	東大/理研測定
H150+1F	～ H250		97.819	TS による測距
H150	～ H150+1F		2.205	東大/理研測定
1F	～ H150		151.574	TS による測距
1F 光格子時計	～ 1F		-0.8464	水準測量
1F 光格子時計	～ 地上観測点	-2.3547		水準測量
1F 光格子時計	～ H450 光格子時計	452.6489	452.61	

3.3 光格子時計間の重力ポテンシャル差

3.2 の比高及び別途実施した重力測量の結果から得られた、光格子時計間の重力ポテンシャル差を表-2 に示す。これらの結果を東大/理研に提供し、光格子時計による観測結果と合わせて評価した結果について、現在学術論文へ投稿中である（令和2年3月1日時点）。

表-2 光格子時計間の重力ポテンシャル差

地点	実測重力値[mGal]	標高[m]	重力ポテンシャル差[m ² /s ²]
H450 光格子時計	979655.14	456.3237	4434.787
1F 光格子時計	979794.41	3.6673	