

## (27) 複数測位信号の搬送波位相を用いた マルチパス検知に関する研究

池田 隆博<sup>1</sup>・佐田 達典<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 日本大学助教 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail: ikeda.takahiro@nihon-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 日本大学教授 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail: sada.tatsunori@nihon-u.ac.jp

衛星測位分野の動向としては、QZSSやGalileo等の衛星系の増加に加え、既存のGPSについてもL2C, L5等の新たな測位信号の運用により、利用可能な衛星数、信号強度の高い衛星電波が増加傾向にある。信号強度の高い衛星電波を使用することでマルチパスの低減が期待されるが、基線解析による高精度測位では継続的にFix解を取得する場合、マルチパス等の誤差を含む衛星電波の排除が必要となる。本研究では、筆者らが提案した搬送波位相変化量によるマルチパス検知手法を各衛星電波に適用し、取得した観測データからマルチパスを含む衛星を検知可能か検証した。その結果、マルチパスの影響を受ける衛星電波を解析から排除することでFix解の取得率が改善することを確認した。

**Key Words :** GNSS, multipath, precise positioning, carrier phase, fix solution

### 1. はじめに

現在、利用可能な衛星測位システムは、日本のQZSS、EUのGalileo等の打ち上げにより増加傾向にあり、既存の測位システムであるGPSについても、L2C, L5信号を搭載した衛星の運用により、従来よりも信号強度の高い電波の利用が可能になりつつある。信号強度の高い電波の利用効果としては、地物からの反射によるマルチパスの影響の低減が期待でき、測位精度の向上効果が考えられる。しかしながら、干渉測位方式による高精度な基線解析では、マルチパスの影響を受ける衛星電波を使用することで、継続的に厳密解 (Fix解) が取得できない場合があり、複数衛星系の併用により利用可能な測位信号が増加した環境下においても、解析時にマルチパス等の誤差を含む衛星電波の排除は必要になるものと考えられる。

観測データからマルチパスの影響を受ける衛星電波を検知する手法としては、筆者らが、搬送波位相変化量の差の較差 (Double Difference of Phase Change : 以下DDPC) 用いた手法を示しており、GPSとGLONASSを併用した基線解析においてその効果を検証している<sup>1)</sup>。そこで本研究では、GPS, GLONASSに加え、QZSS, Galileoの各衛星に対してもDDPCによるマルチパスの影響を受ける衛星の検知を実施し、基線解析時の効果について検証を行った。

### 2. 搬送波位相変化量によるマルチパス検知手法

各々の衛星から送信される測位信号については、衛星系に関わらず周波数および信号強度の異なる2種類以上を送信しており、マルチパスや電離層遅延の影響を受けると、各信号で異なる傾向が生じる<sup>2)</sup>。位相変化量については、位相差に正確な光速 ( $c=299792458$  m/s) を乗じ、搬送波に応じた周波数で割ることで距離データとして得られるため、同衛星から送信される測位信号の位相変化量の差 (Difference of Phase Change : 以下DPC) は(1)式で求められる。

$$DPC = \left| (\phi_t^{L1} - \phi_{t-1}^{L1}) \frac{c}{f_{L1}} - (\phi_t^{L2} - \phi_{t-1}^{L2}) \frac{c}{f_{L2}} \right| \quad (1)$$

$\phi$  : 位相積算値(cycle) L1 : 第1周波数 L2 : 第2周波数  
t : 時刻(s) c : 光速(m/s) f : 搬送波周波数(Hz)

(1)式で得られるDPCについては、双方の測位信号で生じた電離層遅延、マルチパスによる誤差が含まれている。しかしながら、電離層遅延の影響については、基線長10km以上の長距離基線が目安となるため、短距離基線では無視できるものと期待される。よって、基準局で得られたDPCを基準に移動局で得られたDPCとの較差 (DDPC) を求めることで、マルチパスの影響を受ける衛星電波を検知できるものと想定される。

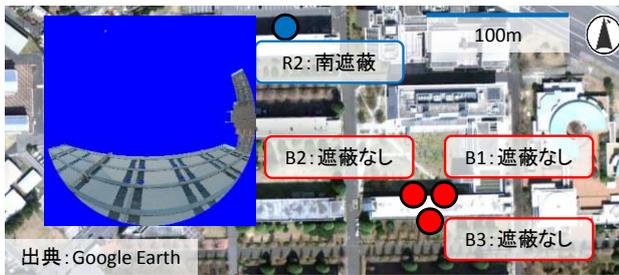


図-1 観測点位置と遮蔽状況

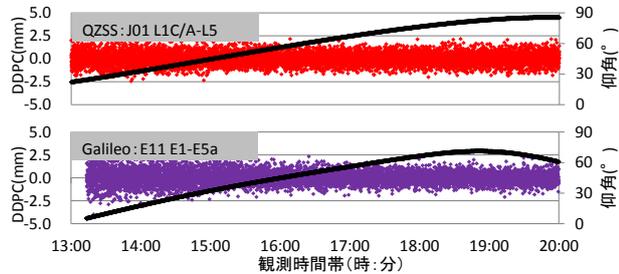


図-2 DDPCの算出結果（上：QZSS J01 下：Galileo E11）

### 3. DDPCによるマルチパス検知時の基準値の設定

DDPCによるマルチパスの影響を受ける衛星の基準値を設定するため、図-1に示す観測点B1を基準局、観測点B2、B3を移動局として同時観測を実施し、DDPCの算出を行った。実験日時は2014年7月16日、23日13:00～20:00である。図-2にDDPCの算出結果と衛星仰角の推移を示す。時系列順に確認すると、DDPCは0mmを中心に分布することがわかるが、測位信号の組合せに応じて分布範囲は異なる傾向が見られた。また、衛星が低仰角の場合、電離層遅延の影響によりDDPCの分布範囲が高仰角の場合よりも大きくなる傾向が見られた。

これらの結果から、DDPCの基準値については、各測位信号の組合せ別に60データ毎の移動平均値を算出し、仰角60°以上で得られる移動平均DDPCの最大値により算出した(表-1)。基線解析時では、この基準値より大きくなる衛星については排除するものとする。

### 4. 高精度測位によるマルチパス検知効果の検証

DDPCによるマルチパス検知効果について検証するため、2014年7月29日13:05～20:05に図-1に示す観測点B1に基準局、観測点R2に移動局を設置して観測データを取得し、キネマティック解析を実施した。解析条件としては、全観測衛星使用、移動平均DDPCによる衛星排除の2種類とし、解析にはRTKLIB Version2.4.2 p11を使用した。また、解析時の衛星系の組合せは、GPS+GLONASSにQZSSまたはGalileoを併用した2種類とする。

表-2に解析条件別に得られた測位解の割合を示す。

表-1 測位信号の組合せ別によるDDPCの基準値

衛星系	DDPC算出時の組合せと基準値	衛星系	DDPC算出時の組合せと基準値
GPS	L1C/A-L2P(Y):0.39mm L1C/A-L2C:0.46mm L1C/A-L5:0.36mm L2P(Y)-L2C:0.92mm L2P(Y)-L5:0.50mm L2C-L5:0.56mm	GLO NASS	G1C/A-G1P:2.47mm G1C/A-G2C/A:0.57mm G1C/A-G2P:0.35mm G1P-G2C/A:2.47m G1P-G2P:2.54mm G2C/A-G2P:0.75mm
	L1C/A-L1C:0.79mm L1C/A-L2C:0.31mm L1C/A-L5:0.37mm L1C/A-L6(LEX):0.31mm L1C-L2C:0.68mm L1C-L5:0.69mm L1C-L6(LEX):0.61mm L2C-L5:0.47mm		Galileo E1-E5a:0.32mm E1-E5b:0.33mm E1-E5:0.36mm E5a-E5b:0.47mm L5a-L5:0.49mm L5b-L5:0.49mm
QZSS	L2C-L6(LEX):0.48mm L5-L6(LEX):0.51mm	QZSS	

表-2 測位信号の組合せ別によるDDPCの基準値

解析条件	GPS+GLONASS+QZSS		GPS+GLONASS+Galileo	
	Float	Fix	Float	Fix
全観測衛星使用	47.9	51.3	41.6	58.4
衛星排除(DDPC)	5.5	94.5	1.3	98.7

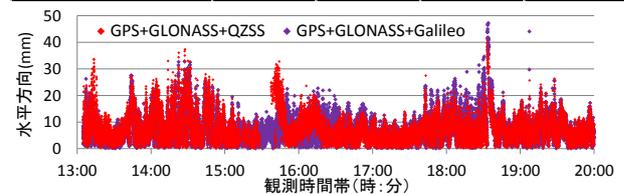


図-3 衛星系の組合せ別によるFix解の乖離

DDPCによりマルチパスの影響を受けると想定される衛星を解析から排除することで、衛星の組合せに関わらずFix解の取得率が90%以上となる傾向が見られた。QZSSを併用した条件では、Galileoを併用した場合よりもFix解の取得率の低下が確認されるが、図-3より観測点R2を中心としたFix解の水平方向の乖離を時系列順に比較すると、15:30～15:40の時間帯ではQZSSを併用した場合、Fix解が取得されないことがわかった。この時間帯のQZSSは、遮蔽物により不可視となるため、受信電波は回折によるマルチパスの影響を含むと想定されるが、DDPCによる指標では検知できなかったものと考えられる。

### 5. 結論

DDPCによるマルチパス検知手法を適用することで、Fix解の取得率の増加が確認されたが、QZSSのように公転周期の遅い衛星に対してはマルチパス検知が困難となる傾向が見られた。今後は、信号強度等の他のマルチパス検知手法の組合せに加え、異なる遮蔽環境下においても同様の結果が得られるか検証を行う予定である。

### 参考文献

- 1) 池田隆博, 佐田達典: 静止時の高精度測位におけるGPSとGLONASSを用いた衛星選択効果に関する研究, 土木学会論文集F3, Vol.69No.2, pp.198-1109, 2014.
- 2) Pratap Misra and Per Enge: *Global Positioning System Signals, Measurements, and Performance Second Edition*, Gnga-Jamuna Press, pp.162-164, pp.421-422, 2006.