

複数測位信号によるマルチパス検知効果に関する研究

日本大学 正会員 ○池田 隆博
日本大学 正会員 佐田 達典

1. はじめに

現在、利用可能な衛星測位システムとして、米国のGPS、ロシアのGLONASS、日本のQZSS、EUのGalileoがあり、既存衛星の近代化や新たな衛星の打ち上げが行われている。これら複数の衛星系を併用することで、遮蔽物の多い都市部や山岳部等においても測位に必要な衛星数が得られる確率が上昇することが考えられる。一方で測位精度の劣化要因であるマルチパスの影響を受ける衛星についても同様に増加が想定されるため、的確に誤差を含む衛星電波を検知し、利用衛星を選択する必要があると考えられる。

著者らは、マルチパスの影響を受ける衛星の検知について、回折波に対しては信号強度の差、反射波に対しては位相変化量の差の較差（Double Difference of Phase Change：以下DDPC）を用いてその効果を以前より検証している。しかし、信号強度については、観測に使用した受信機、アンテナ等の機器の違いにより異なる場合がある。そこで本研究では、DDPC単独で回折波、反射波の双方に対処可能な指標値を設定し、基線解析で得られるFix解よりその効果の検証を行った。

2. 搬送波の位相変化量を用いたマルチパス検知手法

衛星から送信される測位信号については、衛星系に関わらず信号強度および周波数の異なる2種類以上を送信している。電離層遅延やマルチパスの影響を受ける場合、周波数等の違いから各々で異なる傾向が生じるため¹⁾、(1)式に示す位相変化量の差（Difference of Phase Change：以下DPC）については0以外の値が得られることが想定される。

$$DPC = \left| (\phi_{t_1}^{L1} - \phi_{t_1-1}^{L1}) \frac{c}{f_{L1}} - (\phi_{t_1}^{L2} - \phi_{t_1-1}^{L2}) \frac{c}{f_{L2}} \right| \quad (1)$$

ϕ ：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については上記にも述べたように電離層遅延、マルチパスによる誤差が含まれているが、電離層遅延が影響する基線長は10km以上の長基

キーワード：GNSS、マルチパス、衛星選択、干渉測位

連絡先：〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1 日本大学理工学部交通システム工学科道路交通研究室 TEL047-469-5504

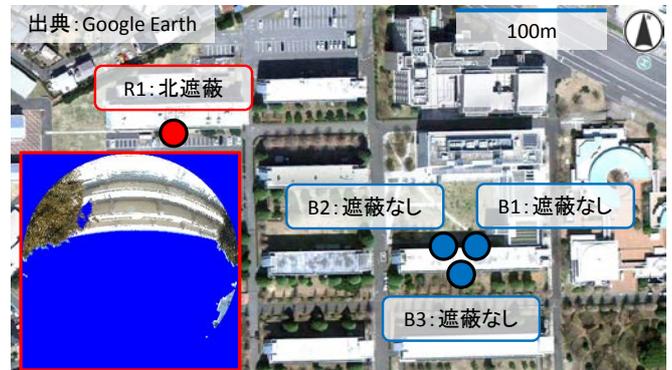


図-1 受信機の設置位置と遮蔽状況

線長が目安となる。よって、基線長10km以内の短基線長の場合、影響は無視できるものと期待でき、(2)式に示すように基準局と移動局の双方の受信機からDPCを算出し、その較差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。

$$DDPC = DPC_{RS} - DPC_{BS} \quad (2)$$

DPC_{RS} ：移動局で得られた位相変化量の差 (m)

DPC_{BS} ：基準局で得られた位相変化量の差 (m)

本研究では、このDDPCをマルチパスの影響を受ける衛星電波の検知指標として使用する。

3. マルチパス検知指標における基準値の設定

DDPCによる衛星選択時の基準値を設定するため、図-1に示すように周囲に遮蔽物の無い観測点に受信機（Trimble NetR9）を設置し、基準局をB1、移動局をB2、B3としてDDPCの算出を行った。データ取得日時は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。時系列順に推移を確認すると、DDPCは0mmを中心に分布する傾向が確認できるが、分布範囲は測位信号の組合せに応じて異なる傾向が確認された。また、衛星が低仰角の場合、電離層遅延の影響により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、本研究ではDDPCの基準値について、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°以上に飛来する衛星の移動平均DDPCの最大値により算出した。表-1に測位信号の組合

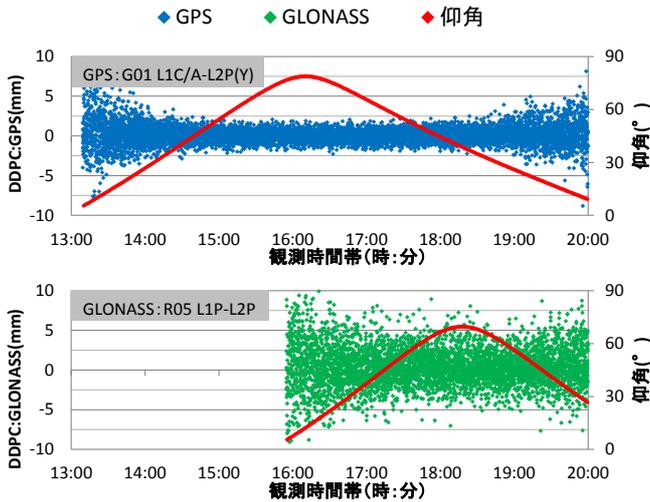


図-2 DDPCの算出結果(上:GPS 下:GLONASS)

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	GLONASS	G1C/A-G1P:2.47mm
	L1C/A-L2C:0.46mm		G1C/A-G2C/A:0.57mm
QZSS	L1C/A-L5:0.36mm	Galileo	G1C/A-G2P:0.35mm
	L2P(Y)-L2C:0.92mm		G1P-G2C/A:2.47m
	L2P(Y)-L5:0.50mm		G1P-G2P:2.54mm
	L2C-L5:0.56mm		G2C/A-G2P:0.75mm
	L1C/A-L1C:0.79mm		E1-E5a:0.32mm
	L1C/A-L2C:0.31mm		E1-E5b:0.33mm
	L1C/A-L5:0.37mm		E1-E5:0.36mm
	L1C/A-L6(LEX):0.31mm		E5a-E5b:0.47mm
L1C-L2C:0.68mm	L5a-L5:0.49mm		
L1C-L5:0.69mm	L5b-L5:0.49mm		
L1C-L6(LEX):0.61mm			
L2C-L5:0.47mm			
L2C-L6(LEX):0.48mm			
L5-L6(LEX):0.51mm			

せ別による基準値を示す。衛星選択については、この基準値内となる衛星を使用するものとする。

4. 高精度測位におけ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の検証を行うため、2014年7月26日13:00~15:00に図-1に示す観測点B1に基準局、北方向が遮蔽された観測点R1に移動局を設置してGPS, GLONASS, QZSS, Galileoの観測データを取得し、複数衛星系を併用したキネマティック解析を実施した。解析条件としては、①全観測衛星使用時、②信号強度の差(Difference of Signal Strength:以下DSS)による衛星選択、③DDPCによる衛星選択の3種類とし、解析にはRTKLIB Version2.4.2 p9, バイアス決定に使用する衛星はGPSとGLONASS、仰角マスクは15°とした。なお、DSSについては(3)式より算出し、回折モデルを参考に値が-6dBHz以上の衛星を使用するものとした²⁾。

$$DSS = SS_{RS} - SS_{BS} \quad (3)$$

SS_{RS}: 移動局で得られた信号強度 (dBHz)

SS_{BS}: 基準局で得られた信号強度 (dBHz)

表-2 衛星選択条件別による測位解の割合(単位:%)

衛星選択条件	Float解	Fix解
全観測衛星使用	98.5	1.5
衛星選択(DSS)	8.9	91.1
衛星選択(DDPC)	3.2	96.8

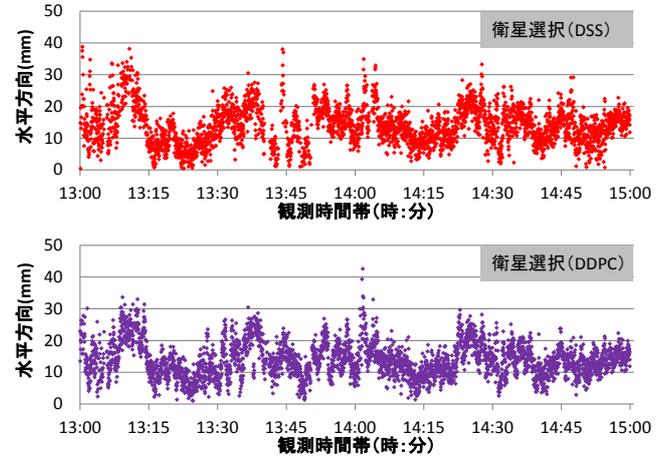


図-3 DDPCの算出結果(上:GPS 下:GLONASS)

表-2に解析条件別で得られた測位解の割合を示す。全観測衛星使用時では、Fix解がほとんど得られずFloat解となることがわかるが、衛星選択を行った他の条件ではFix解の取得率が90%以上となる傾向が見られた。また、DDPCによる衛星選択条件では、DSSを用いた手法に対して約5%のFix解の取得率増加が見られた。

次に、DSSとDDPCの双方の衛星選択手法で得られたFix解に対して、観測点R1を中心とした水平方向の乖離を時系列順に図-3に示す。DSSによる衛星選択では、Fix解の乖離が30mm以上となる場合が複数の時間帯で確認されるが、DDPCによる衛星選択では、14:01~14:02の時間帯を除き30mm以内で分布することがわかる。Fix解の乖離が大きくなる要因としては、解析時の衛星数の不足に加え、誤差を含む衛星電波を解析に使用した場合が考えられ、DDPCによる指標はDSSよりも確実にマルチパスを検知できているものと考えられる。

5. 結論と今後の予定

マルチパス検知指標として提案手法であるDDPCを使用し、各々の測位信号の組合せに対して的確に基準値を設定することでFix解の取得率の増加に加え、分布も安定することが確認された。今後は異機種受信機間での検証を行う予定である。

参考文献

- 1) Pratap Misra and Per Enge: Global Positioning System Signals, Measurements, and Performance Second Edition, Gnga-Jamuna Press, pp.162-164, pp.421-422, 2006.
- 2) 細矢良雄: 電波伝搬ハンドブック, pp.23-24, 1999.