

# 電子基準点測位解に見られる誤差源の検討（第4年次）

実施期間 令和2年度  
客員研究員 株式会社ジェノバ 今給黎 哲郎

## 1. はじめに

令和元年度の報告では、マルチパス等のデータ品質指標に基づく cc-difference 手法による前処理を行うことで、測位解の精度がどの程度改善されるかの検討を行い、初期的な2例の結果を示した。令和2年度の検討では、同一地区において基線の数と解析対象日を増やすことで、条件の異なるデータセットにおいても当該手法がどの程度有効であるかの検討を行った。

## 2. 研究内容

### 2.1 研究の概要

令和元年度の研究では、マルチパスに関する指標に基づき観測データから特定の衛星信号を除去することで後処理キネマティックの解析結果がどの程度改善されるかを2基線の事例について検討した（今給黎, 2020）。令和2年度はさらに、これまで3年間の研究対象としてきた伊豆半島東部の電子基準点のうち、「冷川峠A」を起点とした基線で、令和元年度に対象とした「小室山」と「初島」に加えて、「伊東A」、「中伊豆A」、「宇佐美」、「伊東八幡野」、「大仁」の合計7基線を選んだ（表1）、(図-1)。また令和元年度は24時間のデータ1日分（2017年 DAY296）のみの結果についての解析結果報告であったが、令和2年度はそれぞれ5日分（DAY294~DAY298）の結果について解析、検討を行った。

表-1 解析対象とした基線と基線長

起点は全て「冷川峠A」

番号	点名	基線長(km)
000841	冷川峠A	(起点)
101183	伊東A	3.342
131194	中伊豆A	5.448
93048	小室山	5.715
92106	宇佐美	6.439
93062	伊東八幡野	9.351
93046	大仁	9.762
95105	初島	13.675



図-1 解析対象電子基準点（地理院webサイトに加筆）

令和2年度も令和元年度に引き続き、異常信号除去においては池田（2019）による cc-difference 指標を用いた手法を採用した。cc-difference は、疑似距離（code）のマルチパス誤差と搬送波位相（carrier）のマルチパス誤差の差を取った指標である。観測エポック毎に cc-difference を計算し、その平均値からの偏差を見ることでアンビギュイティの影響を除去し、マルチパスの変化を追跡して異常値が生じているかどうか評価する。通常の解析手順で仰角マスクを変えただけの設定と比較して、cc-difference によ

る異常値を除去した場合、FIX 率や標準偏差などの指標でどの程度結果が改善されるかを検討した。

## 2.2 検証方法

cc-difference 手法による観測データの前処理については、池田 (2019) および今給黎 (2020) を参照されたい。令和 2 年度は令和元年度と同様の前処理を行って、対象の 7 基線について 5 日分の GPS, GLONASS データについて受信信号に問題のある衛星を除外した RINEX データと元の RINEX データをそれぞれ用いた。解析は 24 時間分を 1 セッションとして、解析に用いたソフトウェアは RTKLIB2.4.3b32. kinematic モードで 30 秒エポックのデータを使用、周波数は L1002B+L2. ambiguity 推定は continuous, Filter type は combined, 対流圏モデルについては Saastamoinen で、その他のパラメータはデフォルトの設定を用いた。仰角マスクを 10 度から 30 度まで 5 度刻みで変えた 5 通りの解析を行い、評価においては、FIX 率と平均値からの SD 値を確認した。後述するようにミス FIX が起きたと思われる極端な外れ値を示す結果も含まれていたため、そのようなエポックを除外する整理として解析に使用する共通衛星数の下限を、通常の 4 衛星でなく 5 衛星とした場合の集計も行った。

## 2.3 検証結果

各基線について、raw データと cc-difference 処理を行ったデータを用いた場合について、FIX 率と平均値からのばらつきを示す標準偏差 (SD) の比較を行った。代表的な事例として表-2 には「冷川峠 A」-「中伊豆 A」基線と「冷川峠 A」-「宇佐美」基線の 5 日分の結果を示す。特に 10 度、15 度といった仰角マスクを低くした設定において FIX 率の改善に大きな効果があった。これは、仰角が低い衛星ほどマルチパスの影響を受けやすく、解析結果に悪影響を及ぼしているケースがあるものの、単に仰角マスクで除外するだけでは品質の良い衛星も使用されなくなるために FIX 解が得られなくなる場合もあるということを示している。cc-difference 処理はマルチパスの影響が大きい衛星のみを除外することで、結果的に FIX 率を向上させることに貢献している。今回検討した 7 基線では、仰角マスク 10 度での FIX 率の平均が 52.5% から 96.7%、15 度では 76.0% から 97.5%、20 度でも 88.3% から 97.5% となっている。一方で、仰角マスク 30 度では 92.6% から 92.2% とわずかであるが FIX 率は低下しており、これはフィルタリングにより除外された衛星数が多くなり、FIX 解が得られなくなるケースも含まれていると考えられる。

表-2 生データと cc-difference 処理を行った結果の比較：2017 年 DAY296~DAY298

(左：「冷川峠 A」-「中伊豆 A」基線、右「冷川峠 A」-「宇佐美」基線)

Elevation Cuttoff(deg.)		10	15	20	25	30	
Fix率 (%)	Raw	70.8	89.0	95.7	97.9	93.6	
	cc-difference	98.7	99.4	99.0	97.7	93.4	
SD (cm)	Raw	NS (cm)	2.1	3.6	4.2	1.1	1.3
		EW (cm)	1.1	1.1	1.6	0.8	1.0
		UD (cm)	4.6	3.9	5.1	2.5	3.5
	cc-diff.	NS (cm)	1.1	1.9	2.2	2.6	1.3
		EW (cm)	0.8	0.9	1.8	2.1	1.1
		UD (cm)	3.0	4.3	5.7	6.9	3.8

Elevation Cuttoff(deg.)		10	15	20	25	30	
Fix率 (%)	Raw	56.7	85.4	94.6	98.0	93.5	
	cc-difference	98.0	99.0	99.0	97.7	93.3	
SD (cm)	Raw	NS (cm)	1.7	1.4	2.8	1.3	1.4
		EW (cm)	1.1	0.9	1.5	0.9	1.0
		UD (cm)	3.7	3.5	4.4	2.9	3.6
	cc-diff.	NS (cm)	1.3	1.3	1.3	1.5	1.4
		EW (cm)	0.8	0.8	0.9	1.1	1.0
		UD (cm)	2.9	2.9	2.7	3.6	3.8

7 基線×5 日分の 35 セットすべての解析セッションで FIX 率は向上したが、SD では cc-difference を行ったデータの結果が悪くなる例も数例あった。時系列プロットを確認すると、平均値から数十 cm 外れた FIX 解を示すプロットが散発的に発生しており、ミス FIX と思われる(図-2)。このような外れ値はミス FIX になるよりは Float 解になる方が適切なもので、RTKLIB の解析オプション設定において ambiguity の FIX にかかる閾値等をいくつか調整して再解析を試みたが改善は見られなかった。

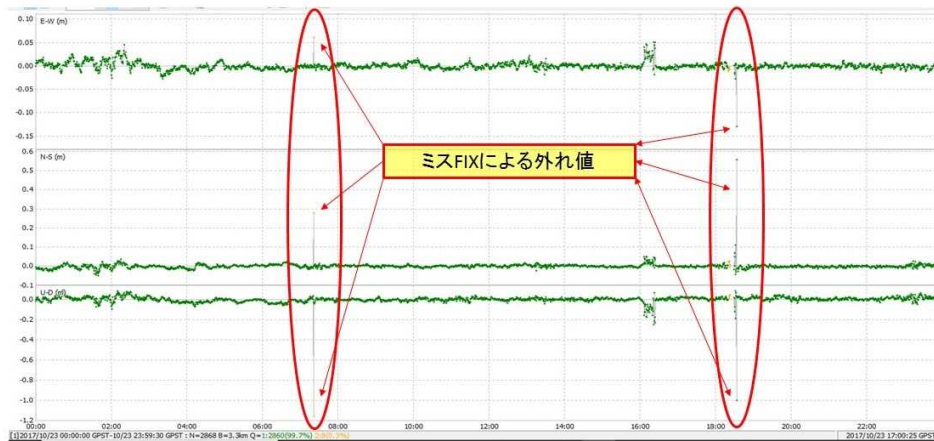


図-2 ミス FIX のエポックを含む解析結果事例：「冷川峠 A」－「伊東 A」基線 DAY296

FIX 解のみプロット. 7 時台と 18 時台に水平で数十 cm, 上下で 1m を超える平均からの外れ値

ログを確認したところ, cc-difference 処理により, 解析に用いられる共通衛星が 4 衛星にまで減少した際に, このようなミス FIX が現れることが確認できた. そこで, 共通衛星が 4 衛星以下となったエポックは採用しないというフィルターをかけて解析結果を再整理したところ, FIX 率においては若干の低下は見られるものの, 外れ値は全て除外されて, SD の指標は改善されることが確認できた. そのような集計を行った事例として「冷川峠 A」－「伊東 A」基線の 5 日分の整理結果を示す(表-3).

表-3 「冷川峠 A」－「伊東 A」基線, DAY294-DAY298 の解析結果, FIX 率と 3 成分の SD. 左は生データと cc-difference(4 衛星以上)の結果比較.FIX 率は生データより向上するが 10 度,15 度で外れ値の影響,高仰角マスクでは除外データ増.右は cc-difference(4 衛星以上)と 5 衛星以上の比較.低仰角マスクの外れ値はなくなり FIX 率も維持.高仰角マスクの除外エポックは増大.

Elevation Cutoff(deg.)		10	15	20	25	30	
Fix率(%)	Raw	55.9	86.4	94.7	97.4	93.4	
	cc-difference	99.5	99.6	98.6	95.7	91.9	
SD(cm)	Raw	NS(cm)	2.5	2.8	3.1	1.7	1.1
		EW(cm)	1.2	1.1	1.4	0.9	0.8
		UD(cm)	5.0	4.0	4.9	3.6	2.9
	cc-diff.	NS(cm)	2.6	2.6	1.0	1.0	1.0
		EW(cm)	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8
		UD(cm)	10.2	10.2	3.1	2.8	3.0

Elevation Cutoff(deg.)		10	15	20	25	30	
Fix率(%)	cc-difference(ns>=4)	99.5	99.6	98.6	95.7	91.9	
	cc-difference(ns>=5)	97.4	97.5	96.0	90.2	77.0	
SD(cm)	cc-diff. ns>=4	NS(cm)	2.6	2.6	1.0	1.0	1.0
		EW(cm)	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8
		UD(cm)	10.2	10.2	3.1	2.8	3.0
	cc-diff. ns>=5	NS(cm)	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0
		EW(cm)	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8
		UD(cm)	2.6	2.5	2.5	2.8	2.8

### 3. 結果に関する考察

令和 2 年度の検討では, 3.3km から 13.7km の 7 基線について 5 日分のデータを用いたが, 全基線, 全セッションにおいて FIX 率の向上が確認された. 特に低仰角の衛星信号を用いる設定では効果が大きいことは, 令和元年度に検討を行った少数例でも確認されたことであるが, 今回事例を拡大しても同じ傾向であることが確認された. 一般的な観測条件においては, 後処理キネマティック測位での cc-difference 手法が有効であることは間違いないと思われる.

一方で, いくつかのセッションにおいては大きな外れ値を示すミス FIX が生じるという問題もある. cc-difference による前処理では, 異常と判定された衛星信号があれば, その衛星ごと除外するフィルタリングを行うだけで, 信号そのものを補正するような操作は行っていない. このことからミス FIX の原

因は解析ソフトである RTKLIB 側のロジックにある可能性があるが、共通衛星が 4 衛星にまで減少しても常にミス FIX が起きるわけではなく、偶発的に特定エポックでミス FIX による外れ値になっているようにしか見えない。解析の設定では ambiguity について Float か Fix かを判断する ratio の閾値を変更することも出来るが、これを高めに設定しても、他のエポックが float に判定されて FIX 率が下がっただけで、この外れ値を除外することができなかった。今回の検討では RTKLIB の解析戦略まで踏み込むことはせず、単純な整理として共通衛星を 5 衛星以上用いたエポックのみ結果を採用することとして集計することにしたが、それでも仰角マスク 25 度以下では 90% 台の FIX 率が確保できることが確認された（表-4）。そのような運用を行うだけでも、実用上問題ない測位結果における品質改善が行えるといえる。RTKLIB 以外の解析ソフトについて、4 衛星でも問題がないかの検証が今後は必要であろう。

表-4 全基線の FIX 率と水平 2 成分、上下成分 SD  
(DAY294-298 の 5 日間平均)

Elevation Cutoff(deg.)		10	15	20	25	30	
Fix率(%)	Raw	52.5	76.1	88.4	94.9	92.6	
	cc-difference(ns>=4)	96.7	97.5	97.5	96.2	92.2	
	cc-difference(ns>=5)	95.4	96.2	95.8	91.3	78.1	
SD(cm)	Raw	NS(cm)	1.9	2.2	3.0	1.6	1.5
		EW(cm)	1.2	1.2	1.6	1.1	1.2
		UD(cm)	4.6	4.6	5.3	3.9	4.2
	cc-diff. ns>=4	NS(cm)	2.4	4.6	2.7	3.3	1.6
		EW(cm)	1.2	1.7	2.1	2.7	1.2
		UD(cm)	6.3	10.3	7.2	9.0	4.4
	cc-diff. ns>=5	NS(cm)	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
		EW(cm)	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1
		UD(cm)	3.4	3.2	3.3	3.4	3.6

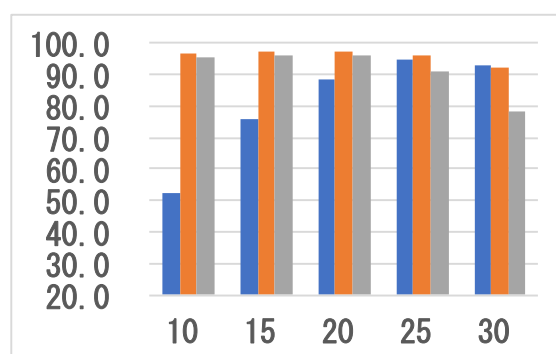


図-3 全基線の仰角マスクごとの FIX 率(%)  
左(青)原データ,中(橙)cc-difference(4 衛星以上),  
右(灰)cc-difference(5 衛星以上)

#### 4. 結論

キネマティック GNSS 解析において、元データの解析を行う前処理として、エポックごとにマルチパス指標に基づいて品質の悪い衛星信号を除外する cc-difference 手法は、特に低仰角の衛星のデータを用いる解析において有効である。後処理キネマティック測位のため cc-difference 処理を行う計算時間は 30 秒エポック 1 日分でも 1 分程度で導入も簡便である。基線解析時に共通衛星数が 4 衛星まで減るとミス FIX が起きることもあるが、5 衛星以上のエポックのみ採用することでも十分な FIX 率は保てるため、そのような整理で実用的に用いることが可能である。

#### 参考文献

- 今給黎哲郎 (2018) : 電子基準点測位解に見られる誤差源の検討, 平成 29 年度調査研究年報, 214-218, <http://www.gsi.go.jp/common/000205323.pdf> (accessed 12 Jul. 2021).
- 今給黎哲郎 (2019) : 電子基準点測位解に見られる誤差源の検討 (第 2 年次), 平成 30 年度調査研究年報, 228-232, <https://www.gsi.go.jp/common/000220245.pdf> (accessed 12 Jul. 2021).
- 今給黎哲郎 (2020) : 電子基準点測位解に見られる誤差源の検討 (第 3 年次), 令和元年度調査研究年報, 218-221, <https://www.gsi.go.jp/common/000228116.pdf> (accessed 12 Jul. 2021).
- 池田隆博 (2019) : 電子基準点における異常衛星信号の検知手法に関する検証, 測位航法学会全国大会予稿集, [https://www.gnss-pnt.org/wp-content/uploads/2020/02/10\\_taikai2019\\_Ikeda.pdf](https://www.gnss-pnt.org/wp-content/uploads/2020/02/10_taikai2019_Ikeda.pdf) (accessed 12 Jul. 2021).