

## GPS の測位精度 - VII

## 陸上定点における測定 (2)

合田 政次, 久野 俊行, 中根 重勝

## Accuracies of Position Fixes Obtained by GPS-VII

## The Observation at a Fixed Station on the Land (2)

Masaji GODA, Toshiyuki KUNO and Shigekatu NAKANE

In recent years, the number of GPS satellites has been increasing, and this system became operational with 15 satellites in October, 1990. In addition, its selective availability has been possible since March 25th, 1990.

Thus, we measured the usable time and got position fixes from our fixed station at Nagasaki University in order to evaluate the positioning accuracy for three days in each of September and October, 1990.

The usable time was about 19 and a half hours, which was two times longer than that with 6 satellites. Especially, position fixes of 3D (three-dimensional positioning) occupied 12 hours of the usable time. Despite the selective availability, standard deviations of D. lat (difference of latitude) and Dep (departure) were kept less than 20 meters due to increasing high level measurements, and the maximum positioning errors were 60 ~ 65 meters. We may conclude that the accuracy of this system has been improved because the standard deviation became so small as to be under 20 meters.

**Key words:** GPS global positioning system; 測位可能時間 usable time

測位精度 accuracy of position fixes; 選択利用性 selective availability

著者らは、衛星航法システム NAVSTAR / GPS (以下 GPS と記す) を幅広く利用するための基礎資料を得る目的で、陸上定点における測位精度の評価を行ってきた<sup>1-6)</sup>。これまではブロック I と呼ばれる試験用の衛星 6 個で運用されてきたが、1989 年 6 月以降、2 ヶ月に 1 回の割合で、また 1990 年に入ってから、年 5 回のペースでブロック II と呼ばれる新しい運用型の衛星が打ち上げられて、利用可能な衛星数は、1990 年 9 月には 14 個、同年 10 月には 15 個となった。

この間システムは正常に運用されているものの、米国の政策によって、1990 年 3 月 25 日以降、選択利用性 (Selective Availability, 以下 SA と記す) が実施され、測位精度を低下させる方策がとられて

いる<sup>7)</sup>。また、本システムは現在構築中の為、予告なしに各種の試験が行われている。従って、利用者には GPS 衛星の運用状況の面で不明な点が多い。しかしながら、衛星数が増加した現時点における測位可能時間と SA の実施による測位精度の状況を把握しておく必要がある。そこで、1990 年 9、10 月に陸上定点 (長崎大学) において測定し、評価した結果を報告する。

## 測定方法および資料

測定は、1990 年 9 月 23 日 ~ 同 26 日と同年 10 月 26 日 ~ 同 29 日の各 3 日間、GPS 航法装置のアンテナを本学部の屋上に設置して行った。基準位置はこ

れまでの測定と同様で, 測定位置を測地系 WGS - 84 に変換したもの (lat 32° 47.163' N, Long 129° 51.935' E) である。

使用した受信機は, 日本無線 (株) 製 JLR - 4000F で, これに高安定発振器 (NDM - 13A) を接続し, 2 衛星による測位も出来るようにしたものである。さらに, これまでと同様に航法モード, 最適衛星選択モードおよび L レベルモードに設定して全レベルについて測定を行った。また, 受信機にパーソナルコンピュータ (NEC PC - 9801) を接続し, 各データをフロッピーディスクに 1 分間隔で記録した。

## 結果および考察

### 1. 測位可能時間

測定を 1 分間隔で行ったので, データ数を測位可能時間と見なし, 三次元測位 (以下 3D と記す), 3 衛星による二次元測位 (以下 2D3 と記す) および 2 衛星による二次元測位 (以下 2D2 と記す) での 1 日当りの測位可能時間とその割合を各レベル毎に求め Table 1 に示した。

9 月の測定時における衛星数は 14 個であった。測位可能時間は 19 時間半で, その 64% (12 時間半) は 3D であり, 2D3 の 30% (5 時間 50 分) と併せると 3 衛星以上での測位が 94% (18 時間半) に達した。しかもそのうちの 16 時間は H レベルで測位出来た。1989 年 6 月の測定<sup>9)</sup> では衛星数が 6 個にすぎず, 測位可能時間は 10 時間程度で, しかもその大半 (60% 程度) を 2D3 が占め, 3D は 10 数% 程度にすぎず, さらに H レベルでの測位も他レベルと同程度の割合であったのに比べると, 本システムが利用者にとつ

て, 充分有効な測位手段になってきたと言える。

約 1 ヶ月後の 10 月の測定時には, 新たに 15 号衛星が加わり, 測位に利用可能な衛星数は 15 個になった。しかし, 測位可能時間は 9 月よりも 3 時間程度減少して約 16 時間半であった。測位可能時間が減少した原因は, 米国において, 本システム構築のための各種の試験を行っていたためであり, さらに衛星が最適配置にないため, 一部の衛星の軌道変更作業が 1990 年 2 月から同年 12 月まで実施されたので, この間, 軌道変更中の衛星は, 測位に使用できなかった<sup>7)</sup> ためと考えられる。従って軌道配置の変更終了後は同じ衛星数でも, 測位可能時間は 9 月の 19 時間半より長くなるものと考えられる。しかしながら, 10 月の測定における 3D の割合は 9 月よりも約 9% 増加し全体の 73% (12 時間) となり, 2D3 は約 4% 減少し 26% となったが, この両者で 99% を占めた。しかもそのうち 88% は H レベルでの測位であった。

測位に使用した各衛星の時間経過に伴う高度の変化を Fig. 1 と Fig. 2 に示した。両図の比較により, 衛星番号 11, 14, 18, 19 の各衛星の軌道は 9 月と 10 月とで明らかに異なっている。今回の測定では衛星高度 5 度の場合から測位を行っているが, 地形的な条件で, 受信可能な高度を仮に 10 度とすると, 9 月には 02 時, 06 時, 15 時頃の各 30 分間程度と 08 時~09 時頃の約 1 時間は, 測位に利用できる衛星が 2 衛星のみになる。これに対して, 同条件下で 10 月に 2 衛星のみとなるのは, 00 時頃と 02 時頃の各 30 分間だけであり, 軌道配置の変更と新衛星 (No. 15) の加入により, 2 衛星しか利用出来ないのは約 1 時間のみ減少している。9 月では 2D2 の測位可能時間は 6% (1 時間 10 分) であったが, 10 月では 1%

Table 1. The usable time and the ratio of each level

Month		2D2				2D3				3D				Total			
		H	M	L	T	H	M	L	T	H	M	L	T	H	M	L	T
Sept.	Time (h-m)	1-00	0-11	0-01	1-12	5-15	0-25	0-14	5-54	10-41	1-43	0-07	12-31	16-56	2-19	0-22	19-37
	Percentage (%)	5.1	0.9	0.1	6.1	26.8	2.1	1.2	30.1	54.4	8.8	0.6	63.8	86.3	11.8	1.9	100
Oct.	Time (h-m)	0-11	-	-	0-11	3-47	0-25	0-05	4-17	10-36	0-58	0-26	12-00	14-34	1-23	0-31	16-28
	Percentage (%)	1.1	-	-	1.1	23.0	2.5	0.5	26.0	64.4	5.9	2.6	72.9	88.5	8.4	3.1	100

2D2: two-dimensional positioning with two satellites

2D3: two-dimensional positioning with three satellites

3D: three-dimensional positioning

H: high level; M: middle level; L: low level; T: total.

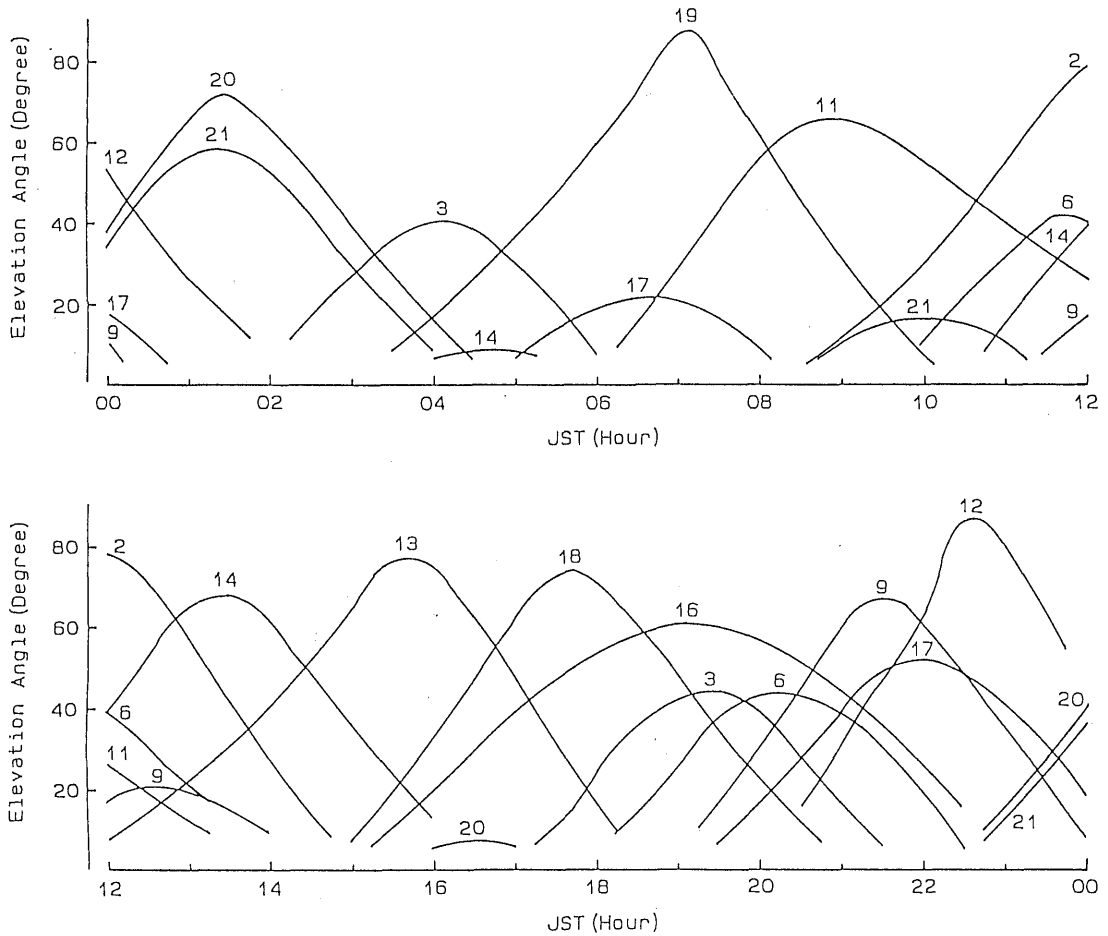


Fig. 1. Elevation angle of satellites observed from 24th to 25th Sept. 1990. Arabic numerals are satellite numbers.

(約 10 分) にすぎず、2 衛星のみでの測位は、ほぼその役割を終えたものと言える。従って本報では 2D2 についても、その結果を Table に記載したが、その評価については省略する。

2. 測位精度

両月とも全データについて、基準位置からの緯度方向の偏位 (変緯, 以下 D. lat と記す) と経度方向の偏位 (東西距, 以下 Dep と記す) および平均位置までの距離 (Distance, 以下 Dist と記す) について、それぞれの平均値と標準偏差を求めた。それらの計算結果を Table 2 に示す。なお各データの D. lat または Dep が標準偏差の 3 倍以上であったものは棄却した。また各観測点を原点として、各レベルの平均位置とその点を中心とする  $1\sigma$  の誤差楕円を図示したものが Fig. 3 である。

9 月の全データ数は 3531 個である。このうち棄却データ数は 98 個、平均偏位距離 0.54 海里であったが、そのうち偏位距離 0.5 海里以下のものが 75 個で 77% を占め、1 海里以上に達するものは 11% にすぎなかった。10 月には全データ数が 2965 個に減少し、棄却データ数は 79 個であった。このうち偏位距離 0.1 海里以下のものが 76 個 (約 96%) を占め、0.2 海里のものがわずかに 3 個あったにすぎず本システムの安定性が著しく向上したことを示している。

9 月の測定では、3D の場合、H レベル (以下 3D-H と記す。その他の場合についても同様の方法で記す) と 3D-M での D. lat の平均値は 10m 未満である。3D-L は 24m とやや大きくなっているが、データ数はわずかに 20 個で、全体の 0.6% にすぎない。Dep の平均値は各レベルとも 40~45m 程度でレベル間の差は小さい。一方、標準偏差は D. lat では H,

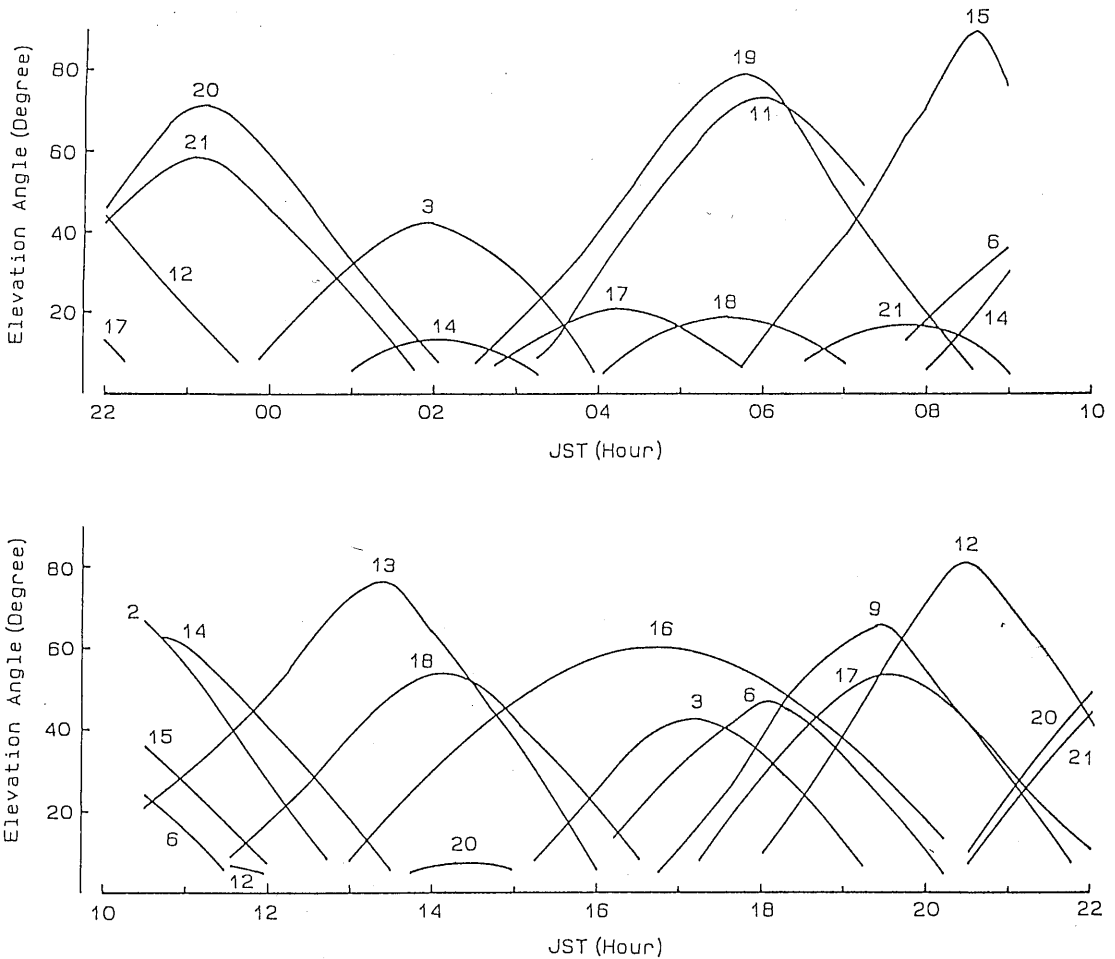


Fig. 2. Elevation angle of satellites observed from 27th to 28th Oct. 1990.  
Arabic numerals are satellite numbers.

M, L とレベルが低下するに従って, 15m, 26m, 32m と順次大きくなっている。しかし Dep のそれは 14 ~ 19m でほぼ同程度である。

2D3 の場合, D. lat の平均値は H, M, L レベルで 4m, 26m, 51m と, かなりバラツキが見られ, その方向も異なるが, データ数は H レベルが全体の 27% であるのに対し, M, L レベル併せても 3.3% にすぎない。Dep の平均値は, H, M レベルではほぼ 30m 程度であるが, L レベルでは 62m に達している。D. lat の標準偏差は H レベルではほぼ 3D-M と同程度であり, M, L レベルでは 96m, 153m とかなり大きくなったが, Dep のそれは 3D の 2 倍程度にすぎなかった。

10 月の測定では, 衛星数の増加に伴う軌道変更により, 3D の測位が増加した。しかも 3D, 2D3 とともに, そのうちの 88% が H レベルという好条件で測位

できた。3D-H の D. lat, Dep の平均値は 9 月の場合とほぼ同程度である。3D-M, L ではわずかながら南へ偏位した。しかし, そのデータ数は 3D 全体の 10% 程度に過ぎない。2D3-H も 3D とほぼ同様の結果となった。2D3-M では, 平均値は D. lat, Dep ともに 9 月より大きくなったが標準偏差は小さくなった。このように各レベルとも 9 月と比べて平均値はやや大きくなる場合もあるが, 標準偏差は全般的に小さくなり, 安定性が増し, 精度がよくなっている。

両月とも 3 日間で 100 個以上のデータが得られたのは, 3D-H, M と 2D3-H であり, これら 3 つのレベルでのデータ数は, それぞれ全体の 90%, 93% を占めた。今後, 衛星数がさらに増加する事とあわせて考えれば, これらがそれぞれの月における GPS の測位精度を表しているとも考えられる。これら 3D-H, M と 2D3-H の全データによる D. lat, Dep と

**Table 2.** The mean values and standard deviations of D. lat, Dep and Distance for each level (unit in meter)

Month	Dimension	Level	No. of Data	D. lat		Dep		Distance	
				Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Sept.	3D	H	1924	8.6	15.1	40.9	13.9	41.8	20.5
		M	309	7.6	25.7	41.1	17.4	41.8	31.0
		L	20	24.1	31.6	45.5	18.9	51.5	36.8
		Total	2253	8.6	17.2	40.9	14.5	41.8	22.5
	2D3	H	944	3.8	27.9	27.0	23.1	27.3	36.2
		M	75	-26.2	95.6	31.4	46.8	40.9	106.4
		L	44	50.7	152.7	61.8	40.1	79.9	157.9
		Total	1063	3.6	49.3	28.8	27.2	29.0	56.3
	2D2	H	91	60.9	137.1	37.2	33.9	71.4	141.2
		M	25	36.2	59.9	-21.0	62.6	41.9	86.6
		L	1						
		Total	117	56.5	124.6	23.2	50.2	61.1	134.3
Total		3433	8.7	39.4	36.6	22.1	37.6	45.2	
Oct.	3D	H	1906	5.4	12.1	42.6	11.5	42.9	16.7
		M	164	-0.2	21.3	43.6	13.1	43.6	25.0
		L	74	-5.3	24.5	46.9	16.2	47.2	29.4
		Total	2144	4.6	13.8	42.9	11.8	43.2	18.2
	2D3	H	674	2.1	23.5	42.2	13.4	42.3	27.1
		M	41	-40.1	38.3	57.7	14.7	70.3	41.0
		L	1						
		Total	716	-0.3	26.4	43.0	14.0	43.0	29.9
	2D2	H	26	3.4	34.5	44.2	11.1	44.3	36.2
		M							
		L							
		Total	26	3.4	34.5	44.2	11.1	44.3	36.2
Total		2886	3.4	18.2	42.9	12.4	43.0	22.0	

3D: three-dimensional positioning

2D3: two-dimensional positioning with three satellites

2D2: two-dimensional positioning with two satellites

H: high; M: middle; L: low; SD: standard deviation.

**Table 3.** The mean values and standard deviations of D. lat, Dep and Distance for each month (unit in meter)

Month	No. of Data	D. lat		Dep		Distance	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
September	3177	7.1	19.9	36.8	17.0	37.5	26.2
October	2744	4.3	15.5	42.6	12.1	42.8	19.6

SD: standard deviation.

Dist の平均値と標準偏差を Table 3 に示す。両月間の差は、いずれも 10m 未満であり、基準位置から平均位置までの距離に標準偏差を加えた最大位置誤差は約 60m で、10 月には 9 月より平均距離がいくらか

大きくなっているものの標準偏差の減少がそれをカバーしているため、両月とも最大位置誤差はほとんど同じ値となっている。また、これらの値は SA 実施以前の結果<sup>8)</sup>と比べてもほぼ同程度である。

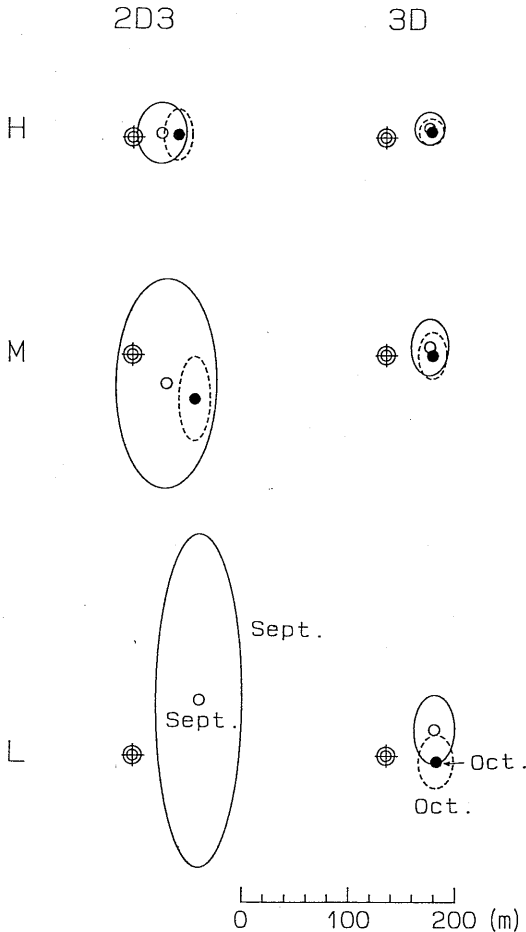


Fig. 3. The mean position and error ellipses of  $\sigma$ .  
 2D3: two-dimensional positioning with three satellites  
 3D: three-dimensional positioning  
 H: high level; M: middle level; L: low level  
 ⊕: observation position.

### ま と め

1989年6月以降, 運用型衛星が打ち上げられ, 1990年10月には15個になったことと, 1990年3月より選択利用性が実施されてきたことによる影響を確認するために, 陸上定点において測定を行い, 測位可能時間と測位精度の検討を行った。

その結果, 測位可能時間は9月には19時間半となり, 衛星数6個の場合の約10時間に比べ著しく長くなった。10月には衛星が9月より1個多くなったが, 軌道変更作業等に伴い, 測位可能時間は3時間程短くなった。しかし, 本システムの本来の精度を示す4衛星による測位可能時間は, 従来の1時間程度から12時間へと大幅に増加した。全般的な精度は, 両月ともほとんど同程度であるが, 10月には3D-Hの比率が増加し, 標準偏差は小さくなった。

既報<sup>1-6,8)</sup>における測定では, 3D-Hで最大位置誤差が50m未満の場合もあったが, そのデータ数は全体の10%にも満たなかった。しかし, 今回の測定では, SAの実施によりDepの平均値が40m位まで増大したものの, 衛星数が増加した事により全体の90%以上を高レベルで測定でき, 標準偏差はD.lat, Depともに20m未満にすぎず, 極めて安定していた。最大位置誤差は, 60~65m程度で, 精度の低下はみられず, むしろ安定性を増してきたことにより, 一層向上したと言えよう。

### 参 考 文 献

- 1) 合田政次, 他2名(1987): GPSの測位精度-I, 陸上定点における測定, 本誌, 62, 33-40.
- 2) 合田政次, 他2名(1988): GPSの測位精度-II, 二定点における同時測定, 本誌, 63, 55-63.
- 3) 久野俊行, 他3名(1988): GPSの測位精度-III, 同型受信機による同時測定, 本誌, 64, 17-22.
- 4) 合田政次, 他3名(1989): GPSの測位精度-IV, 三定点における測定, 本誌, 65, 45-53.
- 5) 合田政次, 他2名(1989): GPSの定点における測位精度, 日本航海学会誌航海, 102, 27-33.
- 6) 久野俊行, 他2名(1990): GPSの測位精度-VI, 海外の二定点における測定, 本誌, 67, 21-29.
- 7) 木村小一(1990): 船の科学, 9, 81-85, 船舶技術協会, 東京.
- 8) 合田政次, 他2名(1990): GPSとロランCの陸上定点における相対誤差, 本誌, 68, 53-60.