

野辺山 45m 電波望遠鏡 IF 系リニアリティ評価

○西谷 洋之、宮澤 千栄子、宮本 祐介、南谷 哲宏

(国立天文台 野辺山宇宙電波観測所)、岩下 浩幸 (国立天文台 ハワイ観測所)

概要

野辺山 45m 電波望遠鏡では、異なる信号系統間で輝線強度に 10% 以上の差が生じる場合があることが確認された。この問題の原因調査のため、受信機と分光計間の共通 IF 系のリニアリティ測定を、測定系の整備から行った。測定系は、計算機制御により複数の信号系統を同時に測定できる。測定の結果、各信号系統で dynamic range や適正信号レベルに 10 dB 程度の相違があることが判明した。今後、改修を行う予定である。

背景・目的

1. 問題

45m 望遠鏡では (a). 異なる受信機 - バックエンドの組み合わせ、(b). 同一受信機 - デジタルバックエンドの異なる信号系統間で、同一輝線の強度に 10% 以上の差が生じるケースが確認されている。原因としては、受信機冷却部及び受信機側常温 IF 部の gain compression、新 IF 系の gain compression、デジタルバックエンド (SAM45) の量子化部に起因する問題、などが考えられている。新 IF 系は図 1 に示す様に信号の流れるパターンが複雑多岐である為、リニアリティの網羅的な測定は行われて来ていなかった。そこで上記の問題の原因調査の一環として新 IF 系の受信機共通 IF 部分のリニアリティ測定を行った。尚、(a) の問題の調査の為、今回とは別に同一受信機 - 異なる 2 つのバックエンドの接続で試験観測が行う様に準備が進められている。

2. 45m 望遠鏡 新 IF 系

現在 45m 望遠鏡では 8 台の受信機・3 種のバックエンド (アナログ分光計、デジタル分光計、連続波用検波器) が稼働している。(受信機 - バックエンド間の接続の詳細については、poster 2. 「野辺山 45m 電波望遠鏡受信機の現状 2015」 [宮澤 他] を参照。) 各受信機 - 新 IF 系 - デジタル分光計の接続を図 1 に示す。

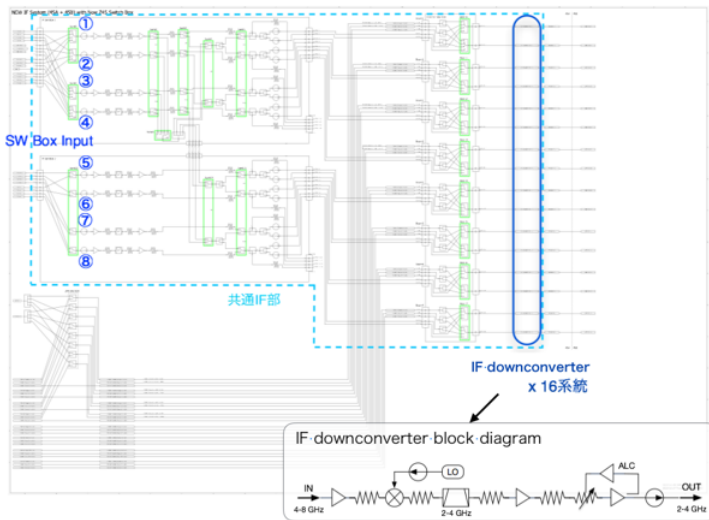


図 1 新 IF switch box - デジタル分光計の信号線図

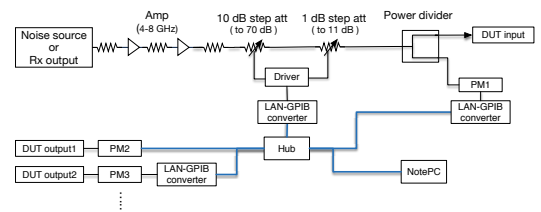


図 2 測定系構成図

測定

1. 測定箇所・範囲

測定は10月下旬に行った。測定結果から12月1日の共同利用開始までに大幅な改修を行う時間はなく、立ち上げ期間の限られた時間の中では、全箇所・全パターンでの測定は難しい為、

1. down-converter input - output 間

2. 共通 IF 部 switch box input - down-converter output 間

に測定箇所を限った。1. については、FOREST 受信機・Z45 受信機からの信号が共通 IF 部 switch box を通過しないので、down-converter 単体 16 系統を測定した。また、1 系統についてのみ、down-converter 内の可変 attenuator 値を 3 パターンだけ変化させて測定した。2. については、

(a) 1 信号系統当たりの信号強度が最大となる input 1 対 output 2 分配

(b) 1 信号系統当たりの信号強度が最小となる input 1 対 output 16 分配

の測定を行った。

2. 測定系

測定系は図 2 に示す様な構成となっている。出来る限り多くの信号系統を同時に測定する為に観測所各所からパワーメータ・センサーを集め、同時に入力 1 系統、出力 4 系統まで測定可能となった。測定は計算機制御で行い、制御ソフトは、野辺山宇宙電波観測所 特任研究員 西村 氏 作成の測定機器制御用 python モジュール”pymasure2”を使用(一部改変・追加)して作成した。制御 PC には Mac OS のノート PC を使用したが、python 環境がインストール・設定されていれば Linux, Windows OS も使用可能なはずである。測定時間短縮の為、GPIB で制御される機器には廉価な GPIB-LAN コンバータを使用して出来る限り 1 対 1 で LAN へ変換した。今回、計算機制御による複数系統の同時半自動測定により、繋ぎ変えの手間などの軽減・測定時間の短縮が可能となり、ある程度広いパターンの測定を行う事が出来た。この測定系・制御ソフトは今後改良を加えつつ他の箇所のリニアリティの測定にも活用する予定である。

結果

1. IF down-converter

図 3 の表に示す様に IF1 で down-converter 内の可変 attenuator 値を 5 dB、10 dB、15 dB とした場合の入力に対する gain 変化を図 4 に示す。5 dB の時が最も dynamic range が取れている。その為、他の IF では 5 dB でのみ測定した。入力 -53 dBm 付近の飛びは測定系 step attenuator の動作不具合の為に生じている。なお、ここで言う dynamic range の下側では、ノイズフロアに信号が埋もれてしまっているだけで実際には gain compression は生じていないと考えられるが、現行の chopper-wheel 法では T_{sys} を正しく評価できず実質的に観測では使用できない為、dynamic range に下限を設けた。

2. 共通 IF 系 switch box - IF down-converter

- 2 分配: 結果を図 5 の表に示す。組となる 2 系統で 10 dB 以上の dynamic range が確保可能な入力レベルの範囲が存在する。
- 16 分配: 結果を図 6 の表に、入力に対する gain の変化を図 7 に示す。16 系統で同時に 10 dB 以上の dynamic range が確保可能な入力レベルの範囲は存在しない。

考察

- IF down-converter 内の可変 attenuator はリニアリティの確保という点であまり有効ではなく、dynamic range は 5 dB 程度の場合が広く取る事が出来る。Attenuator 値が小さい程、低い input レベルまでリニアリティが保たれている。また、Attenuator 値を変えてもサチレーションが見られる input レベルは変わらない。
→ Attenuator 値が大きい場合に信号レベルがノイズフロアに落ちてしまっている。サチレーションは可変

IF	Input power (dBm)		output power (dBm)		Dynamic range (dB)
	min	max	min	max	
1	-41.83	-31.88	-13.00	-3.15	11
2	-41.85	-34.91	-11.28	-4.43	8
3	-42.82	-34.88	-11.10	-3.26	9
4	-42.01	-34.07	-10.29	-2.44	9
5	-42.99	-27.01	-13.72	2.19	17
6	-41.00	-24.80	-11.60	4.50	17
7	-40.00	-22.80	-10.71	6.39	18
8	-46.98	-27.26	-17.27	2.42	21
9	-42.72	-33.78	-13.44	-4.60	10
10	-45.02	-37.04	-16.32	-8.43	9
11	-42.04	-33.11	-12.68	-3.84	10
12	-43.06	-35.11	-13.47	-5.62	9
13	-42.06	-23.88	-12.72	5.37	19
14	-43.06	-24.89	-13.83	4.25	19
15	-42.04	-22.86	-12.67	6.22	20
16	-40.05	-24.88	-11.06	4.03	16

図3 Down-converter 16 系統の測定結果: Dynamic range は gain 変化が peak-to-peak で 0.1 dB 以下となる範囲としている。

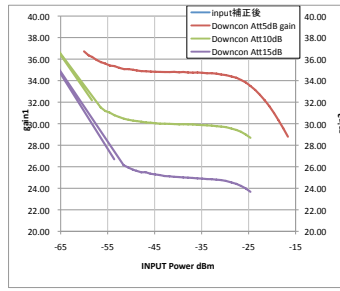


図4 Down-converter IF1 の gain plot: Down-converter 内の可変 attenuator 値を 5 dB, 10 dB, 15 dB とした場合を示す。5 dB の時が最も dynamic range が取れている。よって、他の IF では 5 dB でのみ測定した。入力 -53 dBm 付近の飛びは測定系 step attenuator の動作不具合の為に生じている。

SW box input	IF	Input power (dBm)		output power (dBm)		Dynamic range (dB)
		min	max	min	max	
①	1	-40.17	-31.23	-12.44	-3.58	10
	2	-40.17	-31.23	-10.32	-1.45	10
②	3	-39.65	-30.70	-11.24	-2.40	10
	4	-39.65	-30.70	-11.25	-2.40	10
③	5	-41.26	-19.11	-12.50	9.62	23
	6	-41.26	-19.11	-12.41	9.77	23
④	7	-35.87	-18.66	-9.25	7.93	18
	8	-35.87	-18.66	-9.10	8.07	18
⑤	9	-34.05	-24.80	-9.35	-0.26	10
	10	-34.05	-24.80	-9.87	-0.77	10
⑥	11	-37.80	-28.54	-12.90	-3.74	10
	12	-37.80	-28.54	-12.11	-2.98	10
⑦	13	-29.00	-19.03	-7.76	2.27	11
	14	-29.00	-19.03	-7.63	2.33	11
⑧	15	-39.30	-28.04	-14.08	-2.78	12
	16	-39.30	-28.04	-14.10	-2.83	12

図5 共通 IF 系 switch box - IF down-converter2 分配の測定結果: *表中の値は全て同一入力端子の組みで同時に dynamic range が取れる範囲となっている。

SW box input ①						SW box input ②									
IF	Input power (dBm)		output power (dBm)		Dynamic range (dB)	Compression (per 5dB)	Ta*不定性 (%)	IF	Input power (dBm)		output power (dBm)		Dynamic range (dB)	Compression (per 5dB)	Ta*不定性 (%)
	min	max	min	max					min	max	min	max			
1	-37.74	-31.71	-11.61	-5.66	7	0.06	2.0	1	-37.74	-29.69	-13.09	-5.11	9	0.05	1.8
2	-43.68	-35.75	-15.41	-7.56	8	0.06	3.2	2	-39.66	-30.70	-12.91	-4.01	10	-0.02	0.5
3	-43.68	-36.78	-15.19	-10.31	8	0.06	2.0	3	-38.76	-30.70	-11.83	-3.85	9	0.07	2.5
4	-34.72	-29.69	-6.78	-1.61	6	0.09	3.1	4	-36.74	-30.70	-10.19	-4.24	7	0.09	3.2
5	-31.71	-21.45	-2.09	5.09	11	-0.31	9.8	5	-37.75	-21.45	-12.51	3.79	17	0.02	0.5
6	-28.50	-15.50	-1.91	11.04	14	-0.30	9.3	6	-38.78	-22.46	-13.51	2.76	17	0.04	1.5
7	-29.70	-14.54	-4.44	10.65	16	0.17	6.0	7	-37.75	-22.46	-13.66	1.41	16	0.04	1.3
8	-28.50	-13.50	-3.39	11.53	16	0.23	8.0	8	-28.51	-21.45	-4.82	2.33	8	0.09	3.2
9	-34.76	-28.69	-10.62	-5.60	6	0.07	2.5	9	-29.70	-20.45	-7.07	2.11	10	0.08	2.6
10	-36.76	-31.71	-13.11	-8.10	6	0.04	1.5	10	-33.73	-19.45	-11.59	2.69	15	0.06	2.2
11	-32.76	-23.76	-14.98	-10.61	5	0.13	4.7	11	-30.71	-19.45	-8.19	2.09	12	0.07	2.4
12	-34.76	-29.69	-11.27	-6.25	6	0.11	3.9	12	-29.70	-17.52	-7.73	4.40	13	0.07	2.5
13	-32.01	-24.79	-7.99	-0.78	6	0.09	3.1	13	-30.00	-23.80	-7.48	-1.26	7	0.16	5.8
14	-38.04	-29.98	-13.78	-3.77	6	0.04	1.5	14	-30.00	-22.77	-7.35	-0.08	8	0.13	4.7
15	-31.01	-21.77	-1.91	11.00	10	0.06	2.2	15	-28.82	-23.80	-7.38	-2.30	8	0.17	5.9
16	-28.81	-20.74	-6.38	1.60	9	0.08	2.7	16	-31.01	-22.77	-10.04	-1.76	9	0.20	7.1

SW box input ③						SW box input ④									
IF	Input power (dBm)		output power (dBm)		Dynamic range (dB)	Compression (per 5dB)	Ta*不定性 (%)	IF	Input power (dBm)		output power (dBm)		Dynamic range (dB)	Compression (per 5dB)	Ta*不定性 (%)
	min	max	min	max					min	max	min	max			
1	-39.72	-29.76	-13.03	-3.14	11	0.05	1.7	1	-40.65	-30.72	-15.12	-4.28	11	0.04	1.4
2	-42.74	-31.78	-13.96	-3.07	12	0.00	0.1	2	-41.68	-30.72	-14.07	-3.20	12	0.06	2.1
3	-42.74	-34.81	-13.74	-4.90	9	0.08	3.3	3	-40.65	-32.72	-12.85	-4.99	9	0.07	2.9
4	-38.83	-31.78	-10.25	-3.30	8	0.08	2.8	4	-37.77	-32.72	-10.33	-5.36	6	0.10	3.3
5	-40.67	-18.85	-13.45	6.66	23	0.03	0.9	5	-36.76	-18.84	-10.69	7.48	19	0.00	0.0
6	-40.67	-19.43	-13.45	7.77	22	0.00	0.1	6	-36.76	-18.84	-10.65	7.58	19	0.03	1.0
7	-37.75	-21.46	-11.90	4.41	17	0.01	0.2	7	-39.67	-29.70	-14.97	-4.99	11	-0.01	0.5
8	-29.69	-20.45	-3.96	5.38	10	0.03	1.1	8	-36.76	-18.84	-12.07	1.15	19	0.03	0.9
9	-35.75	-28.51	-11.08	-1.83	10	0.09	3.2	9	-37.76	-29.70	-14.17	-6.18	9	0.07	2.3
10	-38.78	-29.70	-14.64	-5.59	10	0.05	1.7	10	-38.77	-29.70	-15.74	-6.74	10	0.06	2.1
11	-38.74	-25.48	-10.13	-1.97	9	0.11	3.9	11	-38.75	-28.50	-12.28	-4.12	10	0.07	2.4
12	-38.78	-29.70	-11.10	-3.12	8	0.07	2.5	12	-38.74	-28.50	-13.88	-4.70	9	0.08	3.0
13	-35.11	-20.81	-11.10	3.20	15	0.05	1.6	13	-32.04	-21.78	-8.59	1.84	11	0.12	4.0
14	-37.12	-20.81	-12.98	3.33	17	0.00	0.0	14	-32.04	-19.74	-8.41	3.84	13	0.10	3.4
15	-36.13	-22.83	-13.21	0.04	14	0.04	1.3	15	-28.82	-21.78	-6.50	5.89	8	0.10	6.7
16	-38.11	-22.83	-12.96	-0.18	13	0.05	1.6	16	-33.03	-24.81	-11.10	-2.92	9	0.20	8.1

図6 共通 IF 系 switch box - IF down-converter16 分配の測定結果: 右端 2 列に input レベル-32 dBm と-37 dBm の間での gain compression と対応する Ta*の不定性を記している。

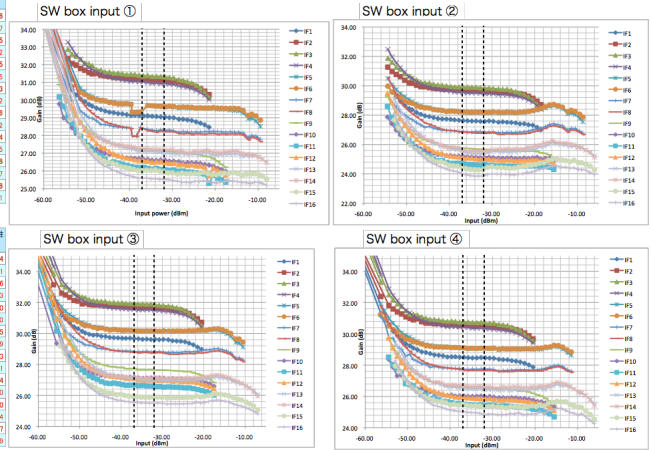


図7 共通 IF 系 switch box - IF down-converter2 分配の gain plot: 縦の点線は、input レベル-32 dBm と-37 dBm を示す。

- attenuator より上流の amp もしくは mixer で起きていると推定される。測定の際には、T70 受信機の出力を雑音源として使用したが tuning を行っていない状態であった為、システム雑音温度に支配的な受信機雑音温度の推定は難しく、このノイズフロアレベルは不明である。
- 共通 IF 部 switch box - down-converter (b)16 分配では、down-converter の dynamic range の確保可能な input レベル範囲が信号系統によってバラついていて、16 系統同時に dynamic range を確保する事が困難で、分光計の異なるアレイ間で輝線強度に差が生じていた点の原因の 1 つとなっていたと推定される。
 - グラフで下に凸となっている系列がある原因については、down-converter 単体の測定では見られない。
 - 次の対処を実行/検討している。今期: 12 月の共同利用開始を控え、時間がない為、主要な設定で input が出来る限り適切なレベルとなる様に調整するに留める予定である。強度校正用の hot load を受信機に見せた状態で、共通 IF 部 switch box input レベルが-32 dBm 程度が適当 (主力受信機性能が R-Sky 5 dB 程の為)。この場合、gain compression により図 6 の表の右端 2 列に示す様に R-Sky 相当の 5 dB 範囲で 0.3 dB 程度以下、 T_a^* に換算して 10% 程度以下の誤差が生じる見込みとなっている。来期以降: 直ちに down-converter を改修する事は、分光計の増設が見込まれ IF 系の再構成が必要とされる可能性を考慮すると、コストが掛かり過ぎる為、共通 IF 部 switch box input の前段に可変 attenuator を増設し、受信機(サイドバンド)毎にレベルを調整する方向で検討中である。