

ヒロでの読み出しノイズ： Science Chip-3 ～修理後の読み出しノイズとスイッチングレギュレータの影響～

本原顕太郎

1998 年 12 月 16 日

1 取得したデータとパラメータ

検出器のボンディングワイヤーの修理後の読み出しノイズを測定するとともに、重量軽減のためにモーターの電源をスイッチングレギュレータにしたことによるノイズに与える影響を測定した。ファンアウトボードは新 1、サイエンスグレードチップを載せている。

取得したデータとその際のパラメータを表 1 に示す。まず、常温で高砂電源が On/Off のとき、真空ポンプをつけていないときのノイズを見た。さらに、冷却途中で 250K くらいになったときのノイズを測定。

冷却後、88K くらいになってダークが落ち着いてきたところで高砂電源、スイッチング電源、さらにスイッチング電源を入れた上で保持電流も流したときのノイズをそれぞれ見た。

2 解析

2.1 stddev フレーム

以下の 3 種類の stddev フレームを作成。

日付	No.	温度 (K)	積分 時間 (s)	コメント
1998/12/03	1398~1417	room	3	真空ポンプで引きながら、高砂電源 OFF
	1418~1437	room	12	同上
	1438~1457	room	3	真空ポンプで引きながら、高砂電源 ON
	1458~1477	room	12	同上
	1478~1497	room	3	真空ポンプ外して、高砂電源 OFF
	1498~1517	room	12	同上
	1518~1537	~250	3	真空ポンプで引きながら
	1538~1557	~250	12	同上
1998/12/05	1576~1595	~88	3	高砂電源 ON
	1596~1615	~88	12	
	1621~1640	~88	3	電源 OFF
	1641~1660	~88	12	
	1661~1680	~88	3	スイッチング電源 ON、全保持電流 ON
	1681~1700	~88	12	
	1701~1720	~88	3	スイッチング電源 ON
	1721~1740	~88	12	

表 1: 取得したデータとパラメータ。ファイルのプレフィックスは noise. である。

- 生データそのまま、はじめの1枚を除いたフレームで stddev。
- DC オフセットを除去して、はじめの1枚を除いたフレームで stddev。
- 1次のスプライン関数で x,y 方向ともに傾きを除去して、はじめの1枚を除いたフレームで stddev。

ただし、これまでもそうだが、DC オフセットを除去する場合と傾きを除去する場合に関しては各コードの [81:400,161:400] の領域を切り出して処理している。

3 結果 : Stddev

3.1 数値

stddev フレームを imstat した結果を以下に示す。表の数値の意味は、stddev フレームを IRAF で

imstat (filename) lower=0.01 upper=40

した結果で、

(mean)/(mode)±(stddev)

となっている。単位は、ADU r.m.s.。

3.2 12/03 : 室温

Q	No.	T_{int}	Raw	Offset 除去	傾き除去
1	1399-1417	3	5.209/5.196 ± 1.147	4.996/4.856 ± 0.7591	4.996/4.922 ± 0.729
	1419-1437	12	5.53/5.028 ± 1.135	5.305/5.268 ± 0.7827	5.302/5.231 ± 0.7683
	1439-1457	3	3.633/3.565 ± 0.6245	3.221/3.193 ± 0.6076	3.234/3.207 ± 0.6069
	1459-1477	12	6.052/5.443 ± 1.34	5.804/5.735 ± 0.842	5.803/5.888 ± 0.8285
	1479-1497	3	4.231/4.157 ± 0.7332	3.872/3.725 ± 0.6785	3.879/3.808 ± 0.6767
	1499-1517	12	6.907/6.144 ± 1.511	6.631/6.523 ± 0.882	6.629/6.658 ± 0.8628
	1519-1537	3	28.48/29.44 ± 6.138	26.48/26.84 ± 6.037	26.48/26.78 ± 6.038
	1539-1557	12	28.93/30.5 ± 6.004	27.13/27.15 ± 5.95	27.13/27.24 ± 5.951
2	1399-1417	3	3.199/3.163 ± 0.5807	2.762/2.725 ± 0.5348	2.765/2.67 ± 0.5352
	1419-1437	12	3.216/3.055 ± 0.589	3.08/3.061 ± 0.5619	3.081/3.046 ± 0.5618
	1439-1457	3	3.136/3.147 ± 0.5423	2.751/2.7 ± 0.547	2.756/2.613 ± 0.547
	1459-1477	12	3.477/3.38 ± 0.6444	3.216/3.064 ± 0.5876	3.216/3.219 ± 0.5887
	1479-1497	3	3.061/3.041 ± 0.5301	2.656/2.537 ± 0.5188	2.659/2.637 ± 0.5183
	1499-1517	12	3.434/3.359 ± 0.6884	3.129/3.11 ± 0.5576	3.128/3.127 ± 0.5579
	1519-1537	3	28.56/30.81 ± 6.979	31.29/32.69 ± 4.767	31.29/31.08 ± 4.768
	1539-1557	12	28.87/31.21 ± 6.795	31.38/31.51 ± 4.743	31.38/31.54 ± 4.743
3	1399-1417	3	3.551/3.446 ± 0.6125	3.055/2.925 ± 0.5897	3.053/2.995 ± 0.5891
	1419-1437	12	3.635/3.576 ± 0.6321	3.253/3.183 ± 0.6149	3.256/3.249 ± 0.6143
	1439-1457	3	4.333/4.2 ± 0.7644	3.927/3.661 ± 0.7629	3.926/3.811 ± 0.7628
	1459-1477	12	4.726/4.677 ± 0.8288	4.159/3.955 ± 0.7698	4.159/4.162 ± 0.7694
	1479-1497	3	3.478/3.398 ± 0.6082	3.057/2.99 ± 0.6099	3.057/2.994 ± 0.6096
	1499-1517	12	3.947/3.852 ± 0.6746	3.272/3.266 ± 0.5848	3.268/3.205 ± 0.5839
	1519-1537	3	31.69/32.54 ± 4.929	31.63/32.88 ± 4.715	31.62/32.52 ± 4.714
	1539-1557	12	32.07/32.7 ± 4.84	32.03/33.2 ± 4.664	32.03/33.49 ± 4.663
4	1399-1417	3	3.505/3.44 ± 0.6539	2.943/2.776 ± 0.5715	2.94/2.807 ± 0.5711
	1419-1437	12	3.579/3.617 ± 0.6404	3.214/3.203 ± 0.5656	3.206/3.101 ± 0.5638
	1439-1457	3	3.618/3.515 ± 0.6408	3.075/2.97 ± 0.6013	3.073/3.147 ± 0.6018
	1459-1477	12	4.053/3.977 ± 0.7009	3.576/3.428 ± 0.6227	3.57/3.587 ± 0.6214
	1479-1497	3	3.297/3.357 ± 0.5717	2.738/2.694 ± 0.5533	2.735/2.502 ± 0.5524
	1499-1517	12	3.901/3.728 ± 0.6974	3.264/3.264 ± 0.5716	3.261/3.204 ± 0.5705
	1519-1537	3	33.39/34.92 ± 4.261	33.32/35.67 ± 4.304	33.32/34.17 ± 4.303
	1539-1557	12	33.53/35.49 ± 4.221	33.43/36.47 ± 4.266	33.42/36.43 ± 4.265

3.3 室温結果の考察

まず、コドラント 1 だけノイズが大きくなってしまっているのが目立つ。とくに、空読みを行っている 12 秒積分のフレームについて、ほかのコドラントとの違いが明白に出ている。

これをもう少し詳しく調べてみると、

- 2 次元化したフレームをみると、コドラント 1 だけ 1 ピクセルごとに出る縞縞の DC レベルが大きく変動しているらしい。(たとえば図??)
- そこで生フレームを見ると、1 ピクセルごとに出る縞縞のピクセル値の幅が以下のように、ほかのコドラントよりも大きい。

Q1	160ADU
Q2	30
Q3	15
Q4	50

- 生フレームを見ると、図 1 のようにコドラント 1 だけ右下にレベルに低い領域ができています。
- 3 秒積分の生フレームを見ても、先述したような現象は見られない。それどころか、12 秒積分の生フレームに見られる 1 ピクセルごとの縞縞が全くなく、べったりときれいなイメージになっている。

というわけで、常温で 12 秒積分の時 (というか空読みを行ったとき) にコドラント 1 が不安定になる原因であるが、どうやら 1 ピクセルごとに出る縞縞にあるらしい。この縞縞は、検出器からの出力信号でピクセル間の刺が収束しきらないうちにサンプルしているために生じている。コドラント 1 ではどうやらこの刺の高さが他のコドラントに比べて高くなってしまっているため、収束が遅くなって読み出しの不安定性を生じているらしい。

コドラント 1 以外の読み出しノイズは検出器の修理前と変わっていなかった。

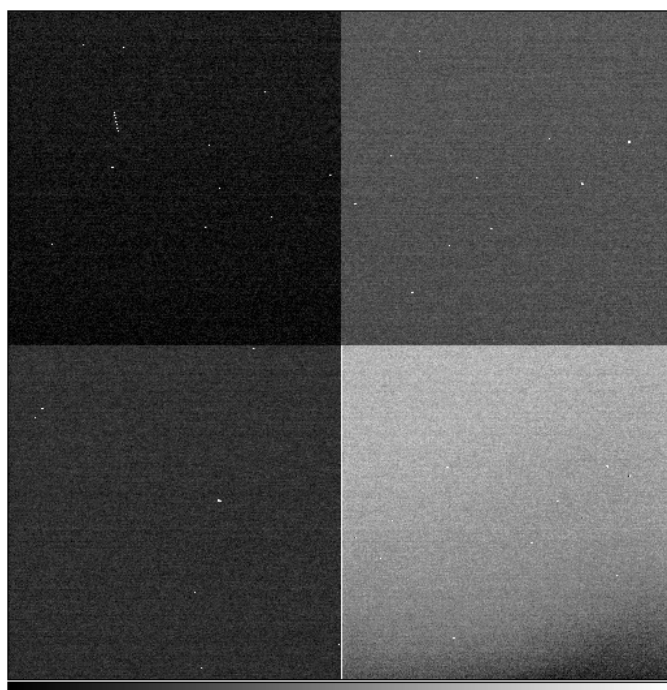


図 1: noise.1436 の全面イメージ。温度は室温、積分時間は 12 秒。fill=yes で表示しているため 2×2 ピクセルでビンニングされており、1 ピクセルごとの縞縞はならされてしまっていて見えない。逆に、そのおかげでコドラント 1 の右下の部分だけレベルが低くなっているのがわかる。

3.4 12/05 : ~88K

Q	No.	T_{int}	Raw	Offset 除去	傾き除去
1	1577-1595	3	4.955/4.833 $\pm$ 1.634	4.98/4.759 $\pm$ 1.801	4.915/4.673 $\pm$ 1.809
	1597-1615	12	5.993/5.417 $\pm$ 2.584	6.091/5.2 $\pm$ 3.02	6.063/5.153 $\pm$ 3.022
	1622-1640	3	6.303/6.1 $\pm$ 1.718	4.958/4.818 $\pm$ 1.755	4.891/4.663 $\pm$ 1.762
	1642-1660	12	5.915/5.315 $\pm$ 2.508	5.996/5.283 $\pm$ 2.919	5.971/5.157 $\pm$ 2.923
	1662-1680	3	10.21/9.567 $\pm$ 2.226	10.04/9.434 $\pm$ 2.293	10./9.432 $\pm$ 2.298
	1682-1700	12	11./10.47 $\pm$ 2.648	10.86/10.41 $\pm$ 2.867	10.81/10.4 $\pm$ 2.865
	1702-1720	3	8.308/8.08 $\pm$ 1.892	7.918/7.581 $\pm$ 1.958	7.859/7.475 $\pm$ 1.969
	1722-1740	12	9.194/8.542 $\pm$ 2.424	8.781/8.159 $\pm$ 2.659	8.733/7.951 $\pm$ 2.66
2	1577-1595	3	4.601/4.567 $\pm$ 1.579	4.014/3.961 $\pm$ 1.212	3.993/4.056 $\pm$ 1.213
	1597-1615	12	5.558/4.907 $\pm$ 2.547	4.418/4.25 $\pm$ 1.562	4.387/4.223 $\pm$ 1.563
	1622-1640	3	6.088/5.952 $\pm$ 1.563	4.01/4.046 $\pm$ 1.214	3.979/3.959 $\pm$ 1.215
	1642-1660	12	5.462/4.936 $\pm$ 2.448	4.396/4.34 $\pm$ 1.543	4.372/4.226 $\pm$ 1.54
	1662-1680	3	6.416/6.19 $\pm$ 1.613	5.888/5.639 $\pm$ 1.375	5.881/5.539 $\pm$ 1.374
	1682-1700	12	7.285/6.715 $\pm$ 2.323	6.257/6.092 $\pm$ 1.619	6.239/6.116 $\pm$ 1.622
	1702-1720	3	6.113/5.877 $\pm$ 1.567	5.186/5.075 $\pm$ 1.272	5.158/4.964 $\pm$ 1.27
	1722-1740	12	7.031/6.391 $\pm$ 2.35	5.55/5.248 $\pm$ 1.59	5.52/5.235 $\pm$ 1.586
3	1577-1595	3	4.564/4.673 $\pm$ 1.182	4.099/4.256 $\pm$ 1.106	4.075/3.992 $\pm$ 1.105
	1597-1615	12	5.232/4.955 $\pm$ 1.575	4.41/4.323 $\pm$ 1.449	4.375/4.183 $\pm$ 1.453
	1622-1640	3	5.974/5.889 $\pm$ 1.37	4.111/4.102 $\pm$ 1.103	4.057/4.037 $\pm$ 1.104
	1642-1660	12	5.185/5.041 $\pm$ 1.585	4.391/4.227 $\pm$ 1.463	4.364/4.23 $\pm$ 1.467
	1662-1680	3	10.58/10.19 $\pm$ 2.199	10.14/9.909 $\pm$ 2.205	10.13/9.893 $\pm$ 2.204
	1682-1700	12	11.28/10.92 $\pm$ 2.381	10.53/10.18 $\pm$ 2.326	10.52/10.08 $\pm$ 2.327
	1702-1720	3	8.095/7.946 $\pm$ 1.642	7.359/7.3 $\pm$ 1.558	7.33/7.17 $\pm$ 1.561
	1722-1740	12	8.702/8.175 $\pm$ 1.848	7.617/7.246 $\pm$ 1.652	7.602/7.244 $\pm$ 1.652
4	1577-1595	3	4.423/4.4 $\pm$ 1.026	3.872/3.817 $\pm$ 1.04	3.842/3.875 $\pm$ 1.04
	1597-1615	12	5.325/5.071 $\pm$ 1.235	4.01/3.895 $\pm$ 1.172	3.999/3.917 $\pm$ 1.172
	1622-1640	3	5.932/5.863 $\pm$ 1.166	3.879/3.843 $\pm$ 1.001	3.821/3.876 $\pm$ 1.006
	1642-1660	12	5.136/4.963 $\pm$ 1.192	3.993/3.968 $\pm$ 1.193	3.992/3.956 $\pm$ 1.193
	1662-1680	3	6.293/6.087 $\pm$ 1.24	5.818/5.49 $\pm$ 1.226	5.811/5.774 $\pm$ 1.224
	1682-1700	12	7.028/6.873 $\pm$ 1.4	6.018/5.801 $\pm$ 1.367	6.015/5.896 $\pm$ 1.367
	1702-1720	3	6.002/5.799 $\pm$ 1.182	5.14/5.179 $\pm$ 1.114	5.095/4.912 $\pm$ 1.115
	1722-1740	12	6.918/6.551 $\pm$ 1.378	5.289/5.133 $\pm$ 1.254	5.273/5.211 $\pm$ 1.253

3.5 ~88K 結果の考察

3.5.1 スイッチング電源なしの時

スイッチング電源を用いないときのノイズは、コドラント 2,3,4 については検出器の修理前と同じレベルになっている。

一方、コドラント 1 の読み出しノイズが、積分時間によって違っているのがわかる。これは、コドラント 1 のダークカレントが他のコドラントに比べて大きくなっているためで、例えば 12 秒積分のフレーム群から傾きを除去したときの average と stddev フレームを図 2 に示すが、これを見るとダークが大きいところの読み出しノイズが大きくなっているのが良くわかる。

そこで、コドラント 1 のダークカレントが比較的小さい [513:612, 257:512] を切り出して傾き除去の処理をして stddev フレームを求め直した。結果は下表になる。

Q	No.	T_{int}	傾き除去
1	1577-1595	3	4.21/4.222 $\pm$ 1.14
	1597-1615	12	4.457/4.506 $\pm$ 1.292
	1622-1640	3	4.207/4.222 $\pm$ 1.09
	1642-1660	12	4.441/4.203 $\pm$ 1.186

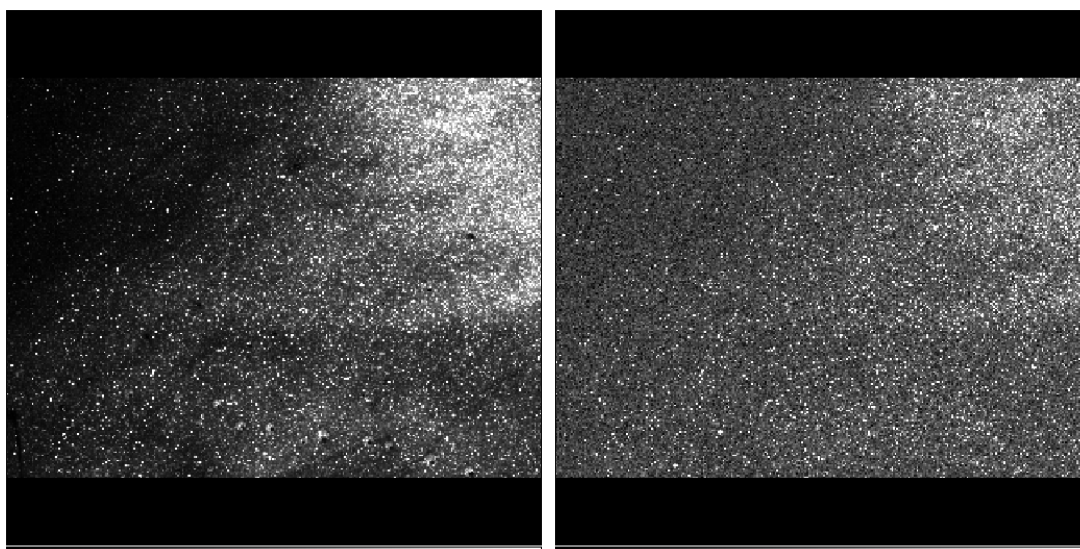


図 2: noise.1596.fits~noise.1615.fits のコドラント 1 の傾きを除去した average フレーム (左) と stddev フレーム (右)。ダークカレントが大きいところが読み出しノイズも大きくなっているのがわかる。

これを見る限り、コドラント 1 の読み出しノイズは他のコドラントとほぼ同じレベルにあると考えて良いだろう。ただ、ダークカレントが (少なくとも 88K では) 他のコドラントに比べて圧倒的に大きいということが少し気にかかる。これは低バックグラウンドでのイメージング、分光の時だけでなく、バックグラウンドリミット時に露出オーバーになってしまったとき、ダークが大きくなる現象の影響をもちに受けるということも意味しているからである。

3.5.2 スイッチング電源の影響

やはりスイッチング電源の影響はもろに出ることがわかった。コドラント 1,3 が大きく影響を受け、コドラント 2,4 への影響は比較的小さい。

しかしながら、コドラント 2,4 にも 100KHz 程度の縞模様が見れており、深い観測をする際には問題になるだろう。そういう意味でも、露出時にはスイッチング電源は切っておく必要がある。

スイッチング電源を入れたとき、さらに保持電流を流したときに読み出しノイズにどれくらい寄与するのかを計算したのが下表である。計算には、傾きを除去した時のノイズのうち 3 秒積分のものをを用い、各コドラントごとにスイッチング電源を動かしていないときのデータを平均を基準として、その基準値との自乗差の平方根を寄与としている。

T_{int}	SW 電源と保持電流	Q1	Q2	Q3	Q4
3.0	Power+Current	8.7155/8.1959	4.3241/3.7824	9.2782/9.0419	4.3689/4.2801
3.0	Power	6.1420/5.8383	3.2736/2.8753	6.0989/5.9408	3.3584/3.0180

これを見ると、コドラント 1,3 と 2,4 で、スイッチング電源の読み出しノイズへの寄与は 2 倍程度違うのがわかる。

この違いが何によるものなのかはよくわからない。

3.5.3 周波数解析

これに関しては、別にレポートでまとめる。

4 結果：2次元化したフレーム

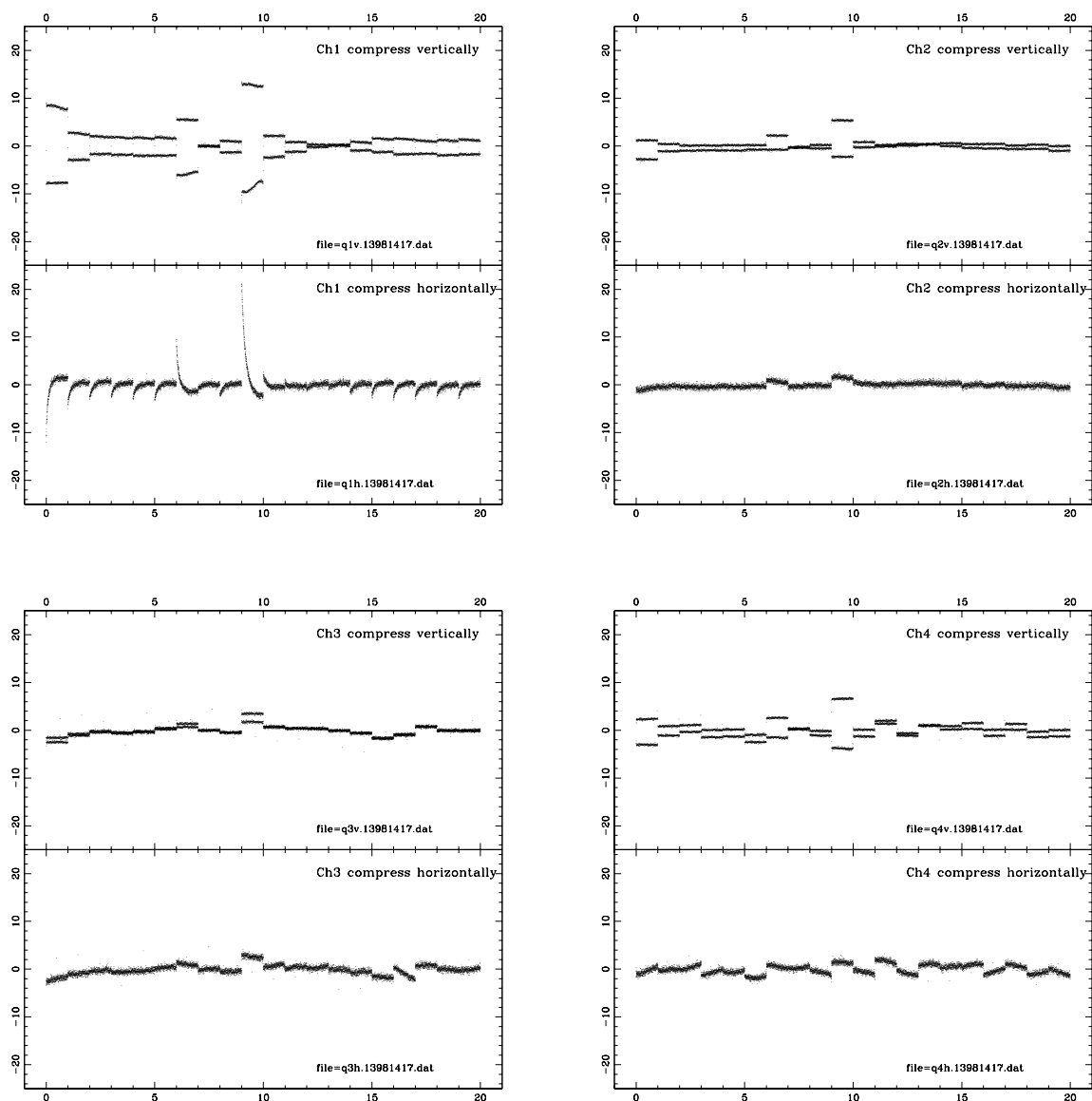


図 3: Frame=1398~1417 $T_{int}=3$ sec, $T_{det}=\text{room}$, 高砂電源 OFF, 真空ポンプ付

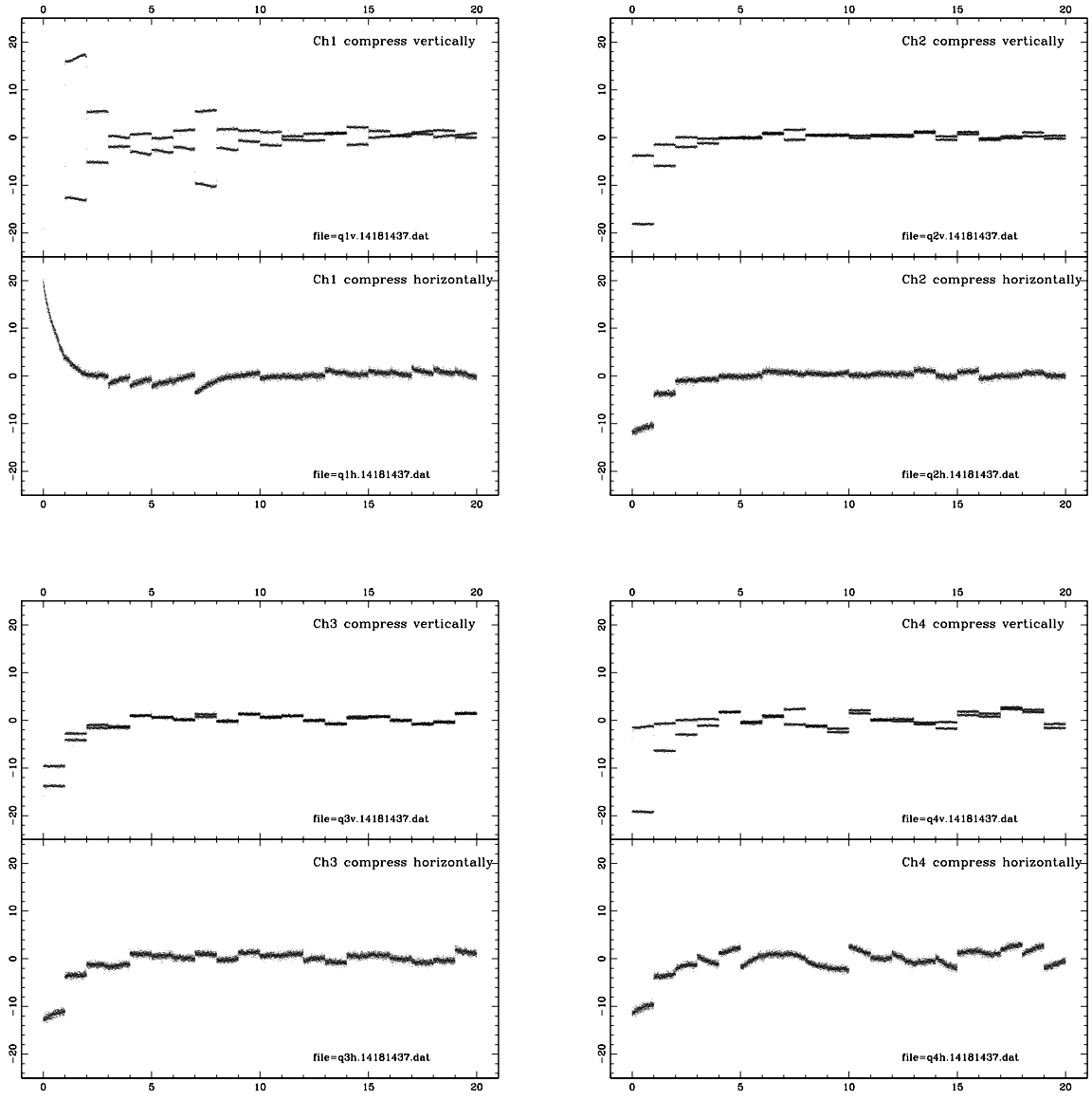


図 4: Frame=1418~1437 $T_{int}=12$ sec, T_{det} =room, 高砂電源 OFF, 真空ポンプ付

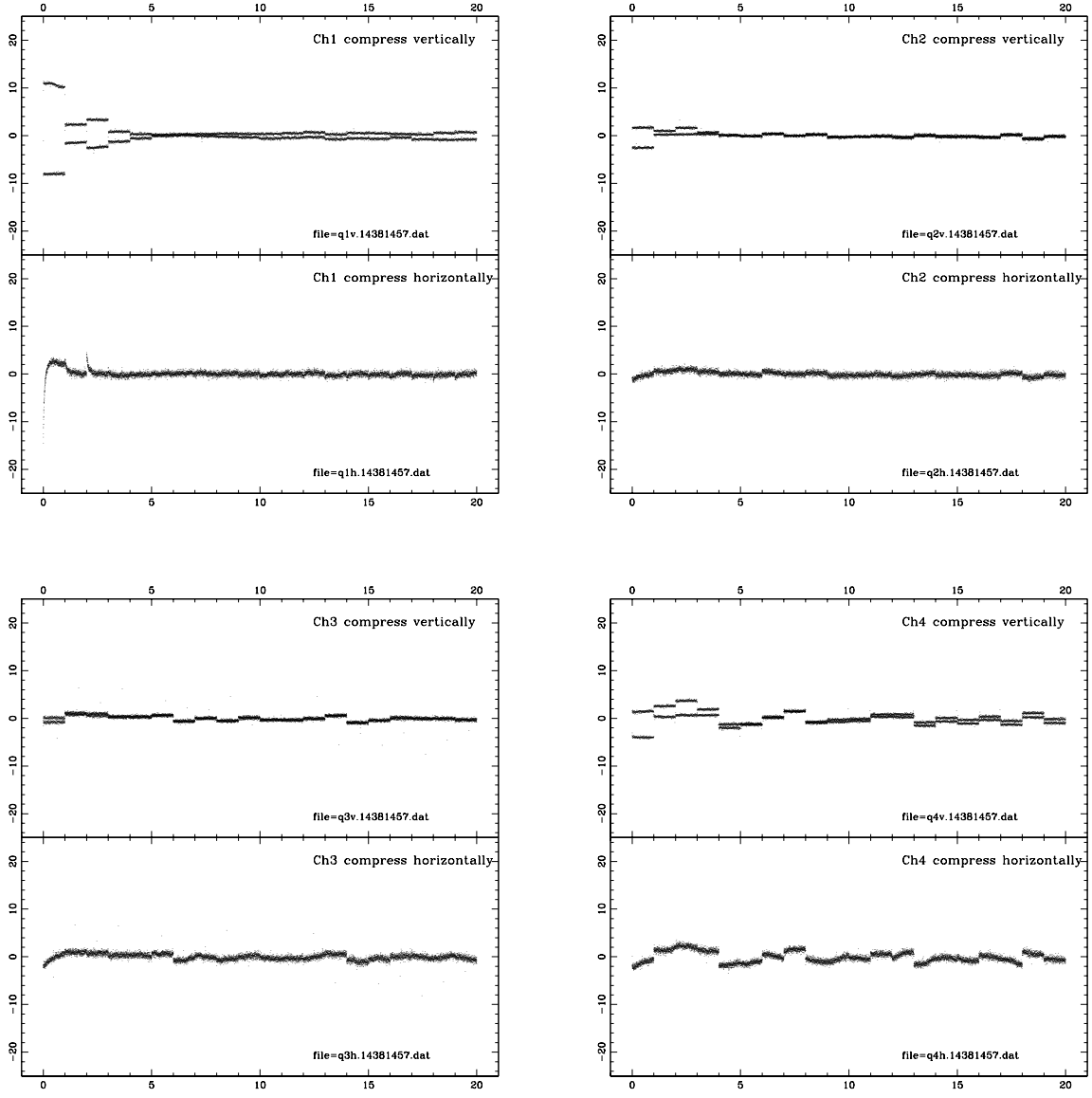


図 5: Frame=1438~1457 $T_{int}=3$ sec, T_{det} =room, 高砂電源 ON, 真空ポンプ付

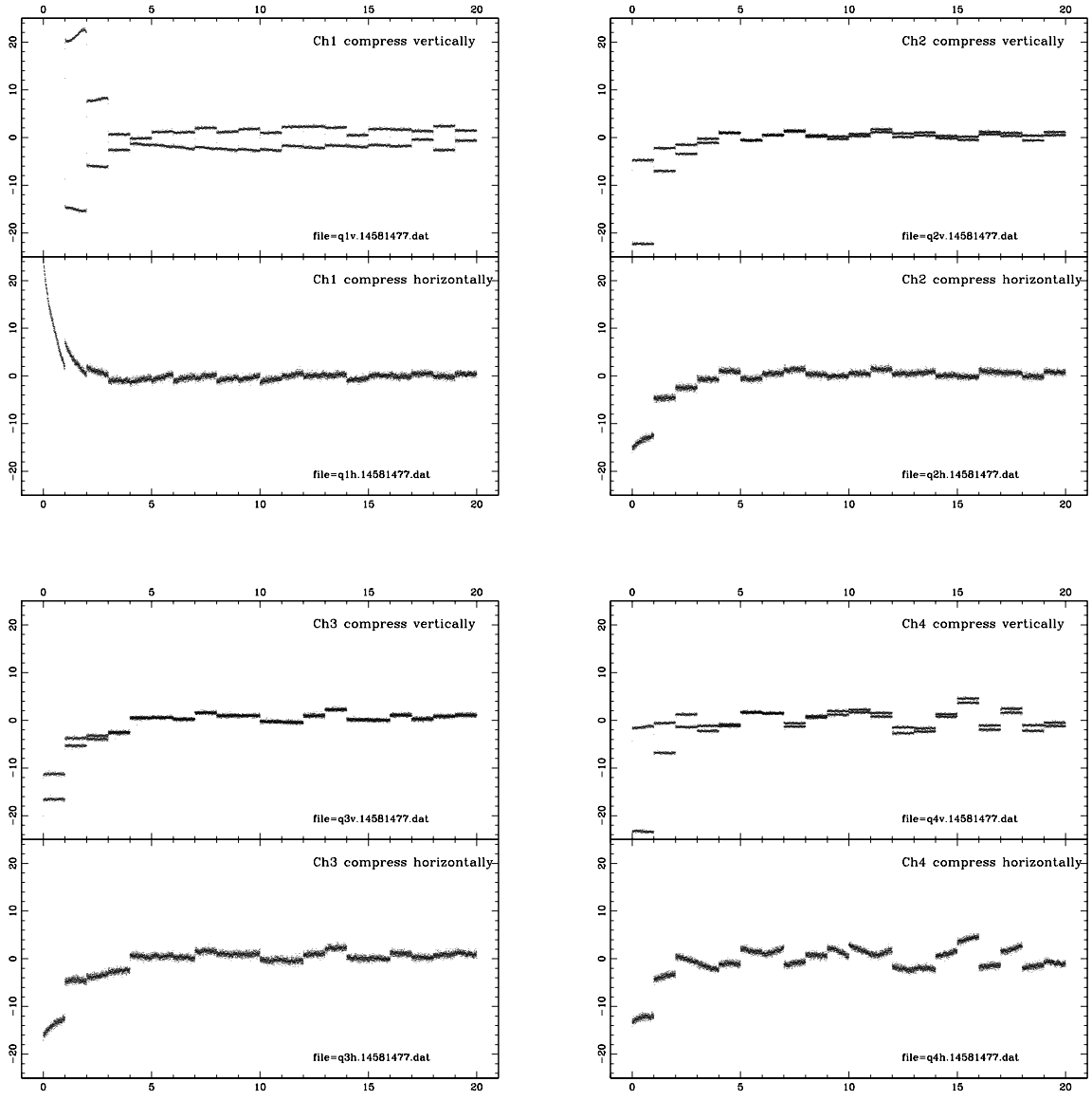


図 6: Frame=1458~1477 $T_{int}=12$ sec, T_{det} =room, 高砂電源 ON, 真空ポンプ付

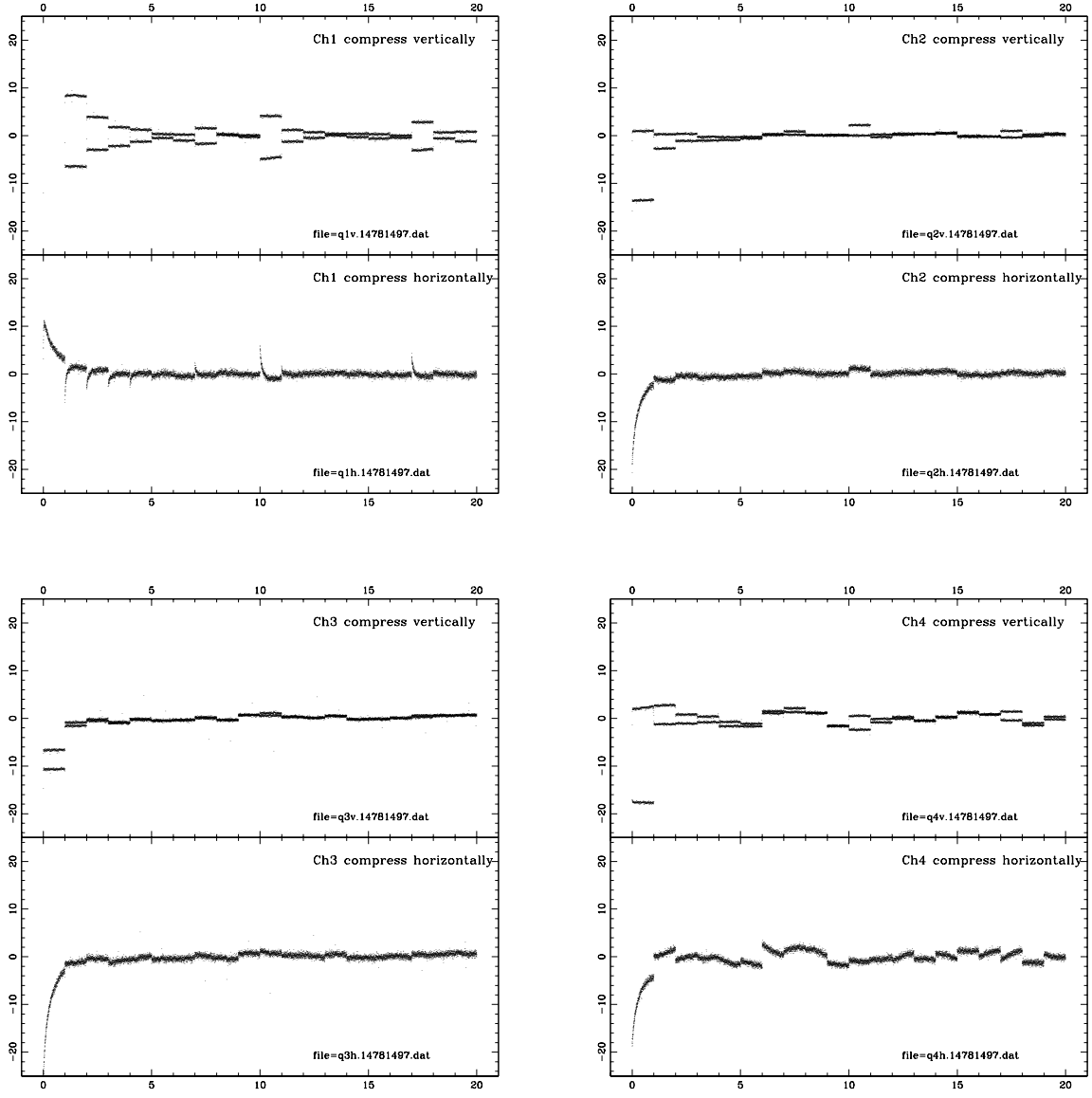


図 7: Frame=1478~1497 $T_{int}=3$ sec, T_{det} =room, 高砂電源 OFF, 真空ポンプ無

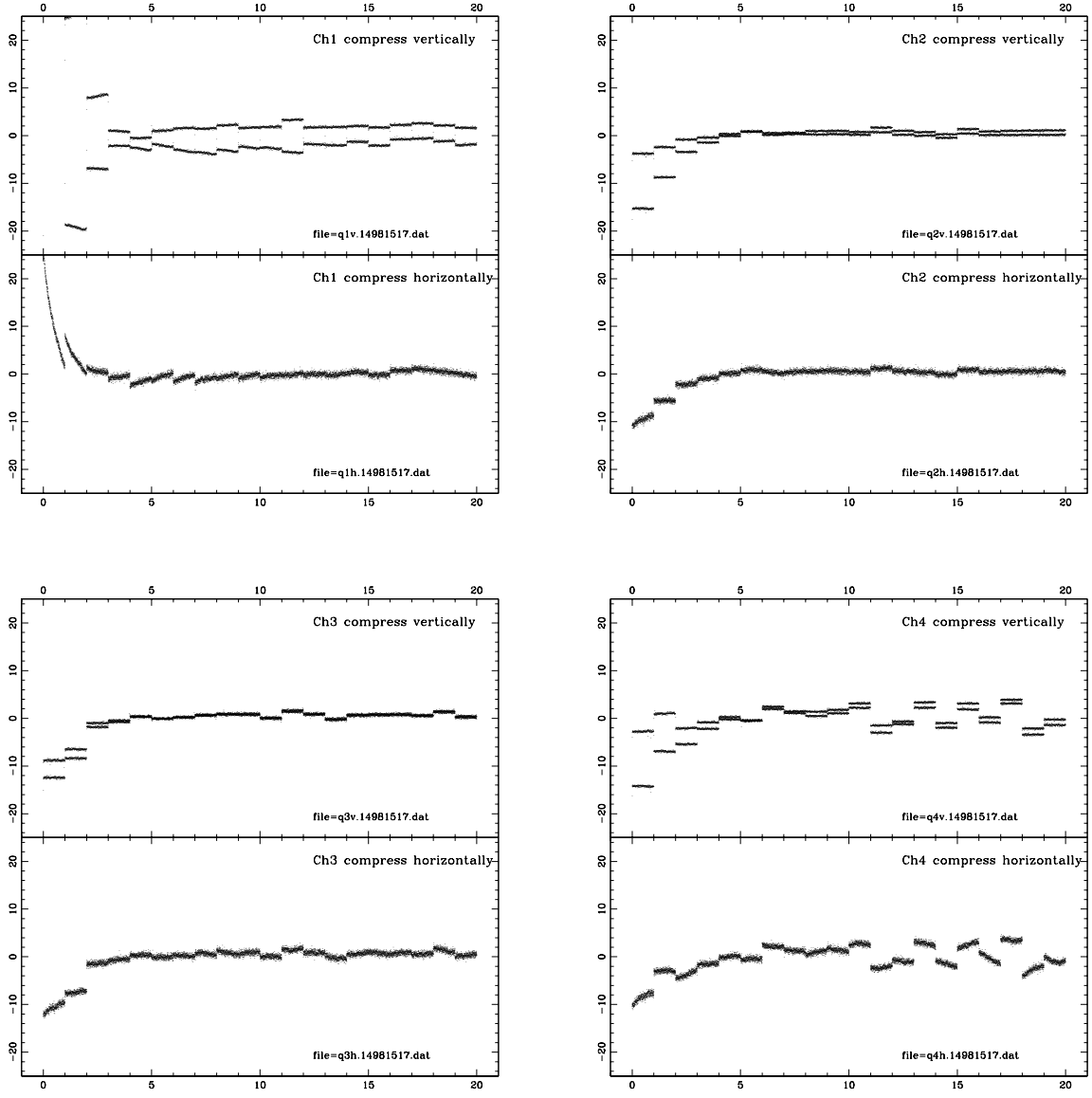


図 8: Frame=1498~1517 $T_{int}=12$ sec, T_{det} =room, 高砂電源 OFF, 真空ポンプ無

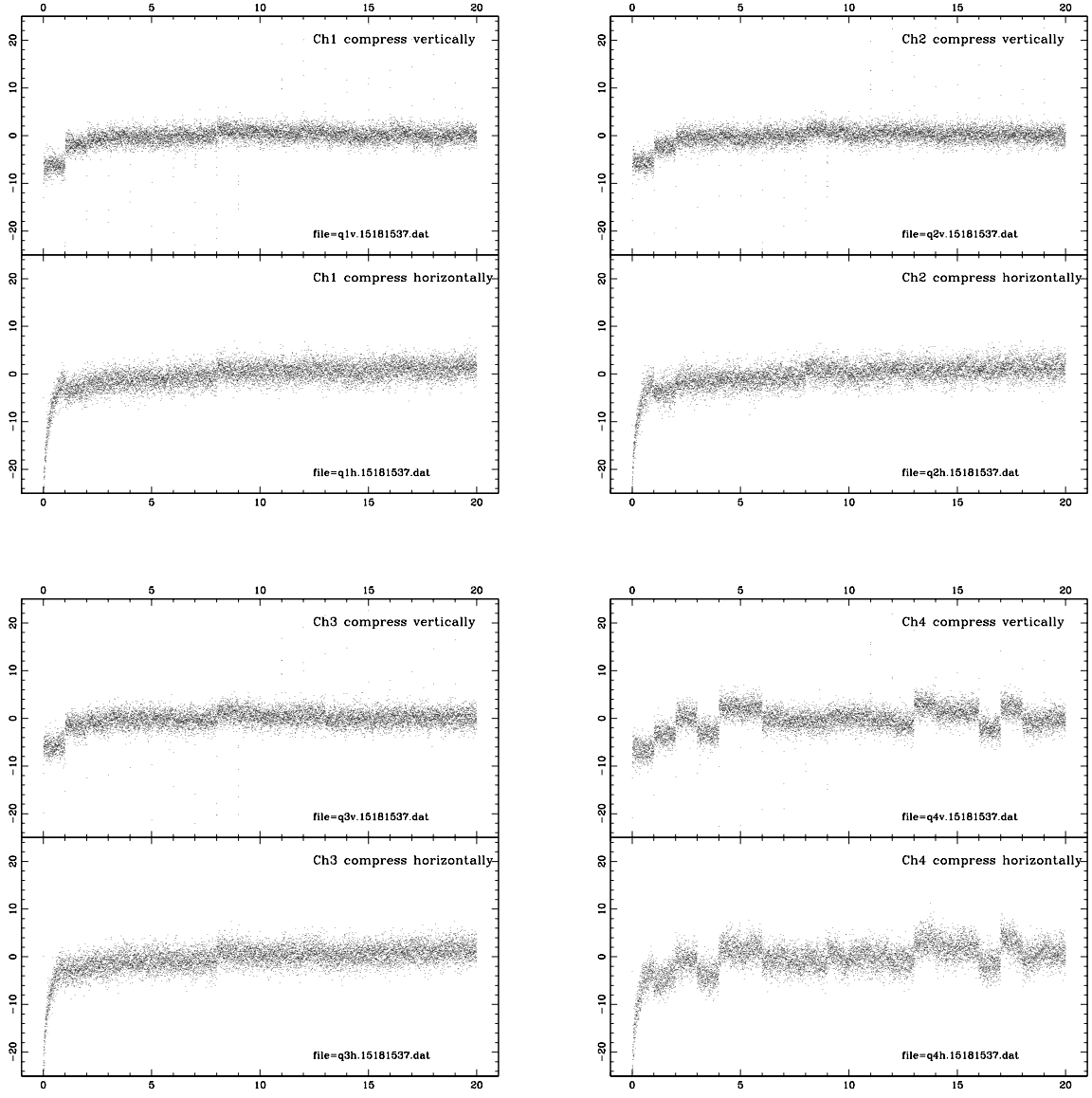


Fig 9: Frame=1518~1537 $T_{int}=3$ sec, $T_{det}=\sim 250$ K

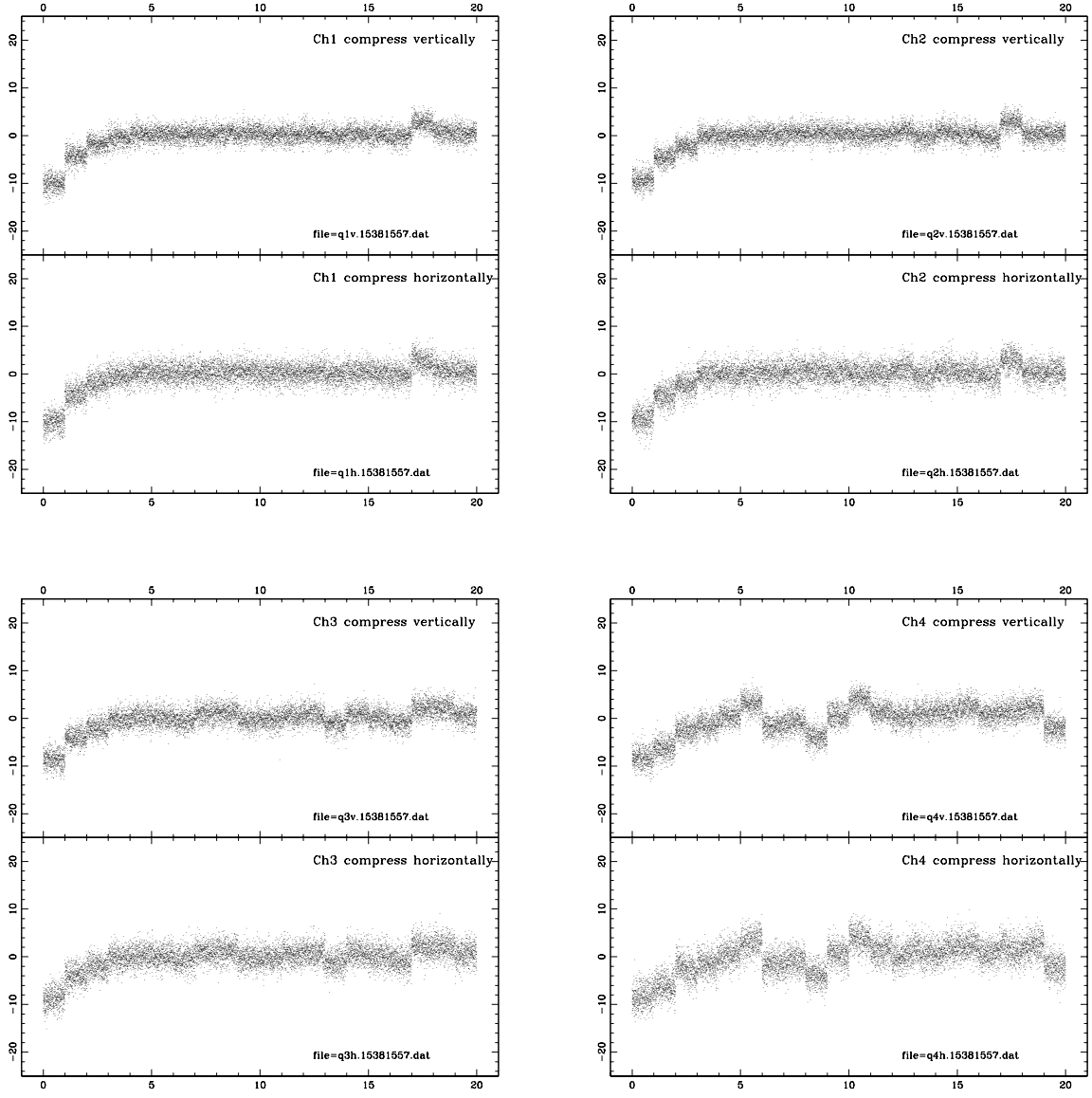


Fig 10: Frame=1538~1557 $T_{int}=12$ sec, $T_{det}=\sim 250$ K

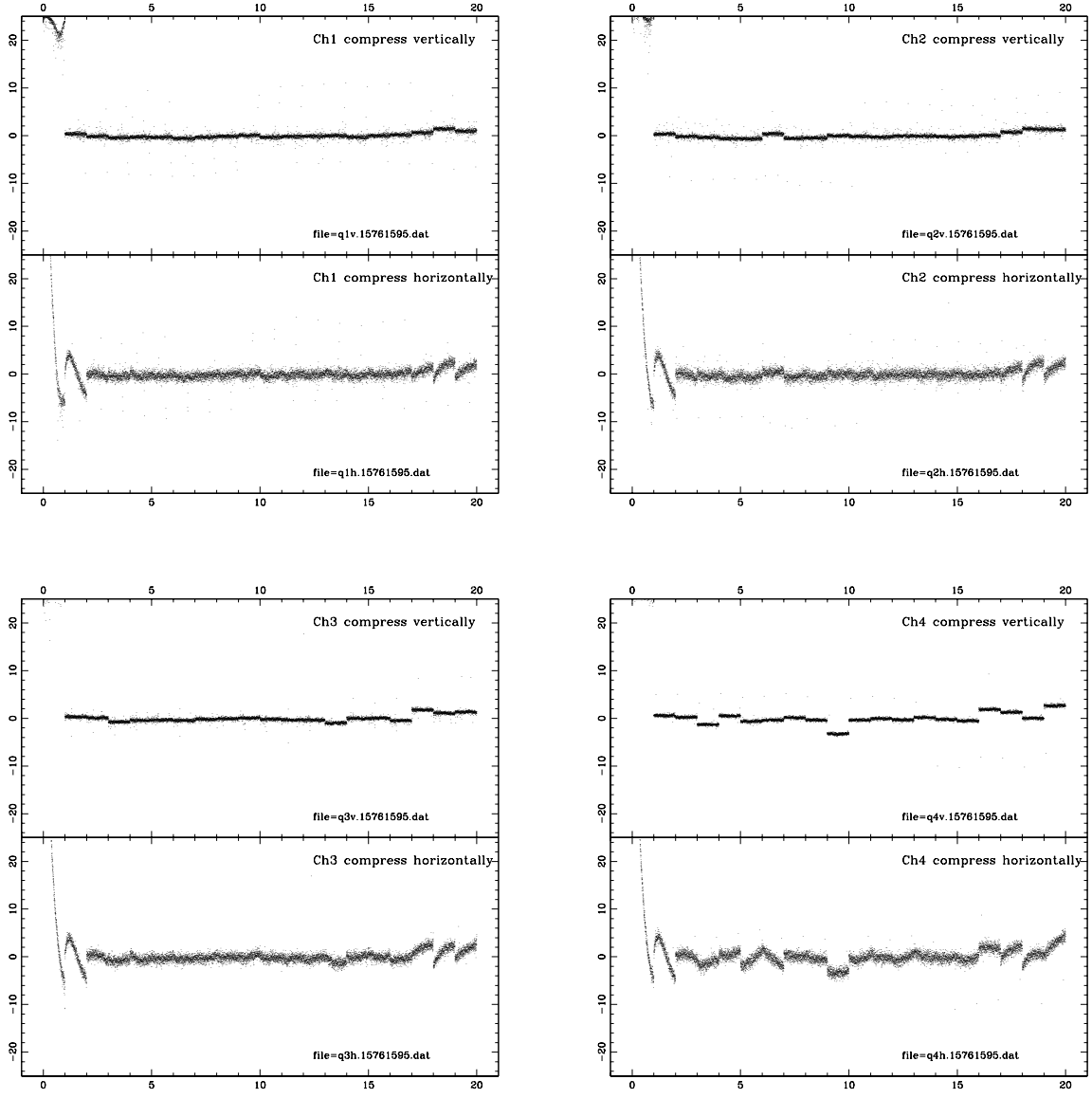


図 11: Frame=1576~1595 $T_{int}=3$ sec, $T_{det} \sim 88$ K, 高砂電源 ON, 保持電流 OFF

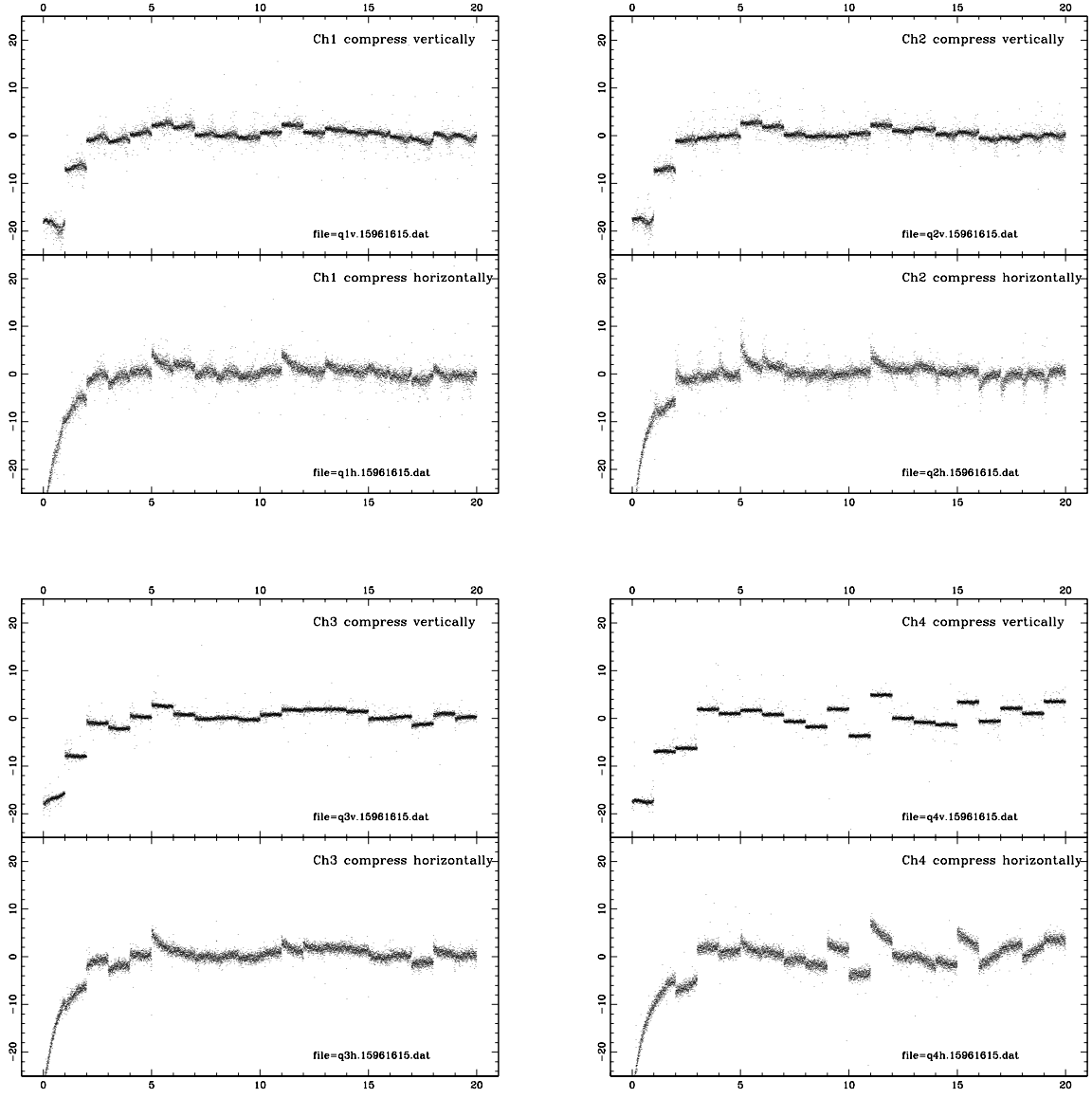


図 12: Frame=1596~1615 $T_{int}=3$ sec, $T_{det} \sim 88$ K, 高砂電源 ON, 保持電流 OFF

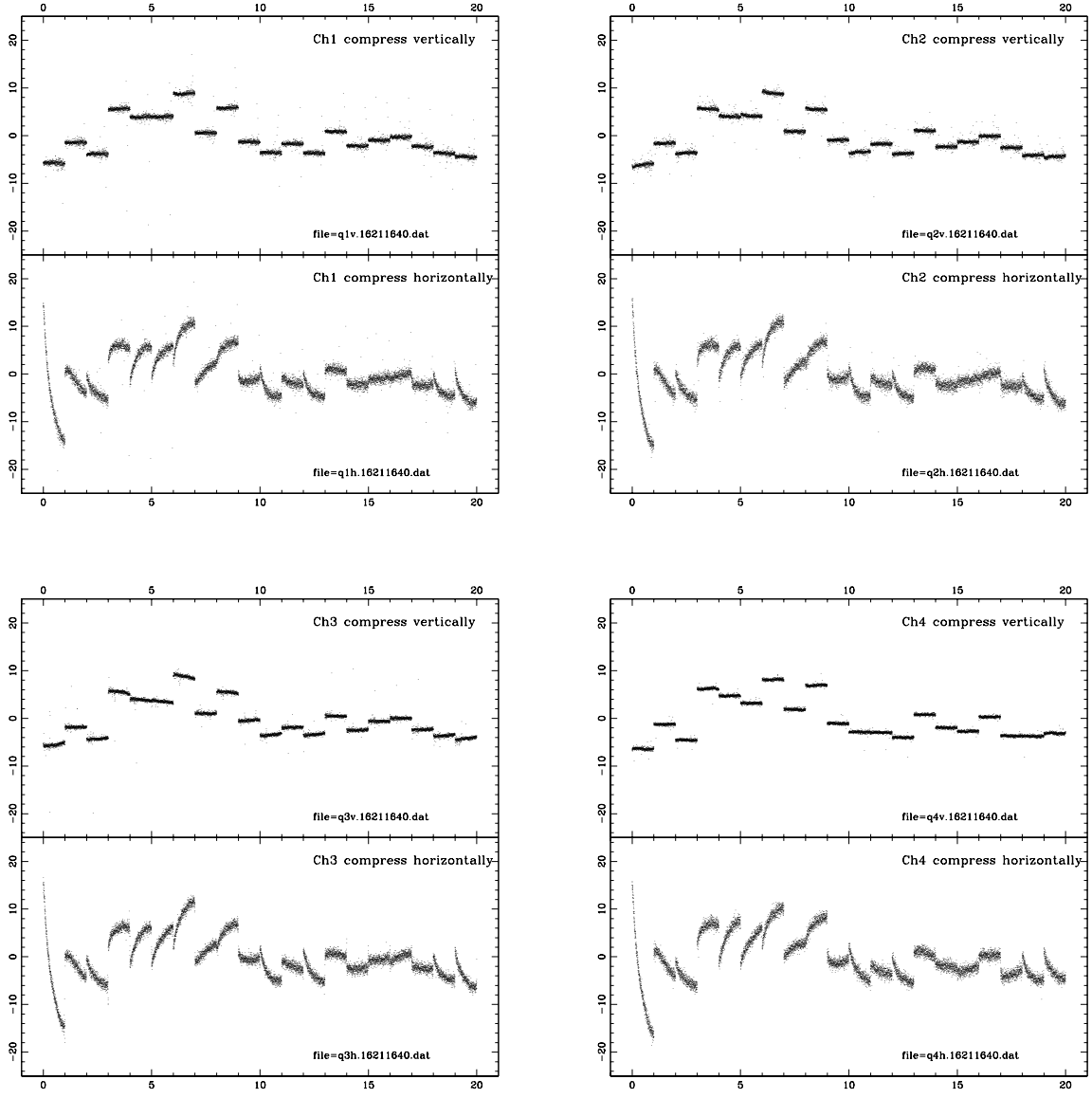


図 13: Frame=1621~1640 $T_{int}=3$ sec, $T_{det}=\sim 88$ K, 電源なし

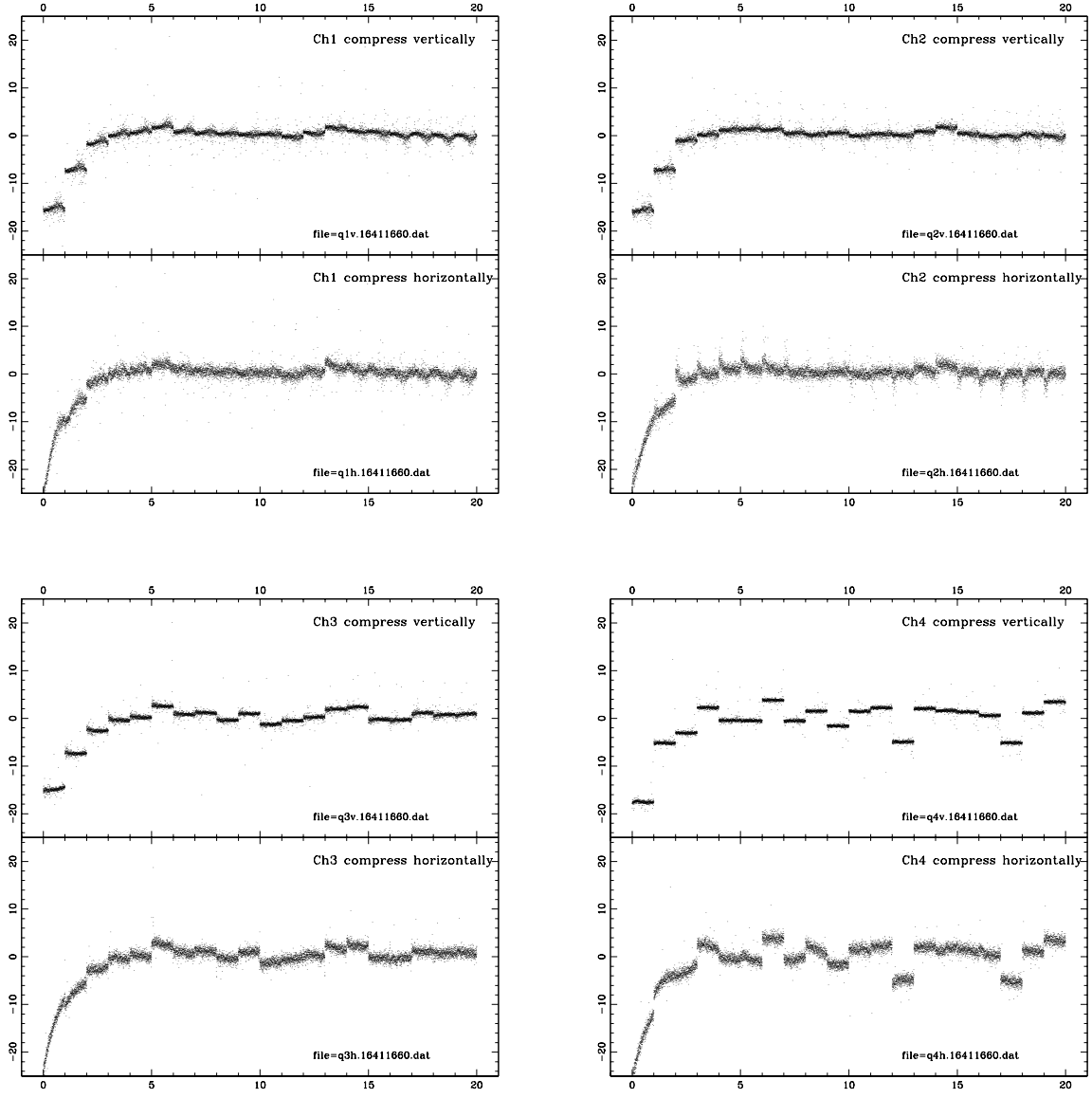


図 14: Frame=1641~1660 $T_{int}=3$ sec, $T_{det}=\sim 88$ K, 電源なし

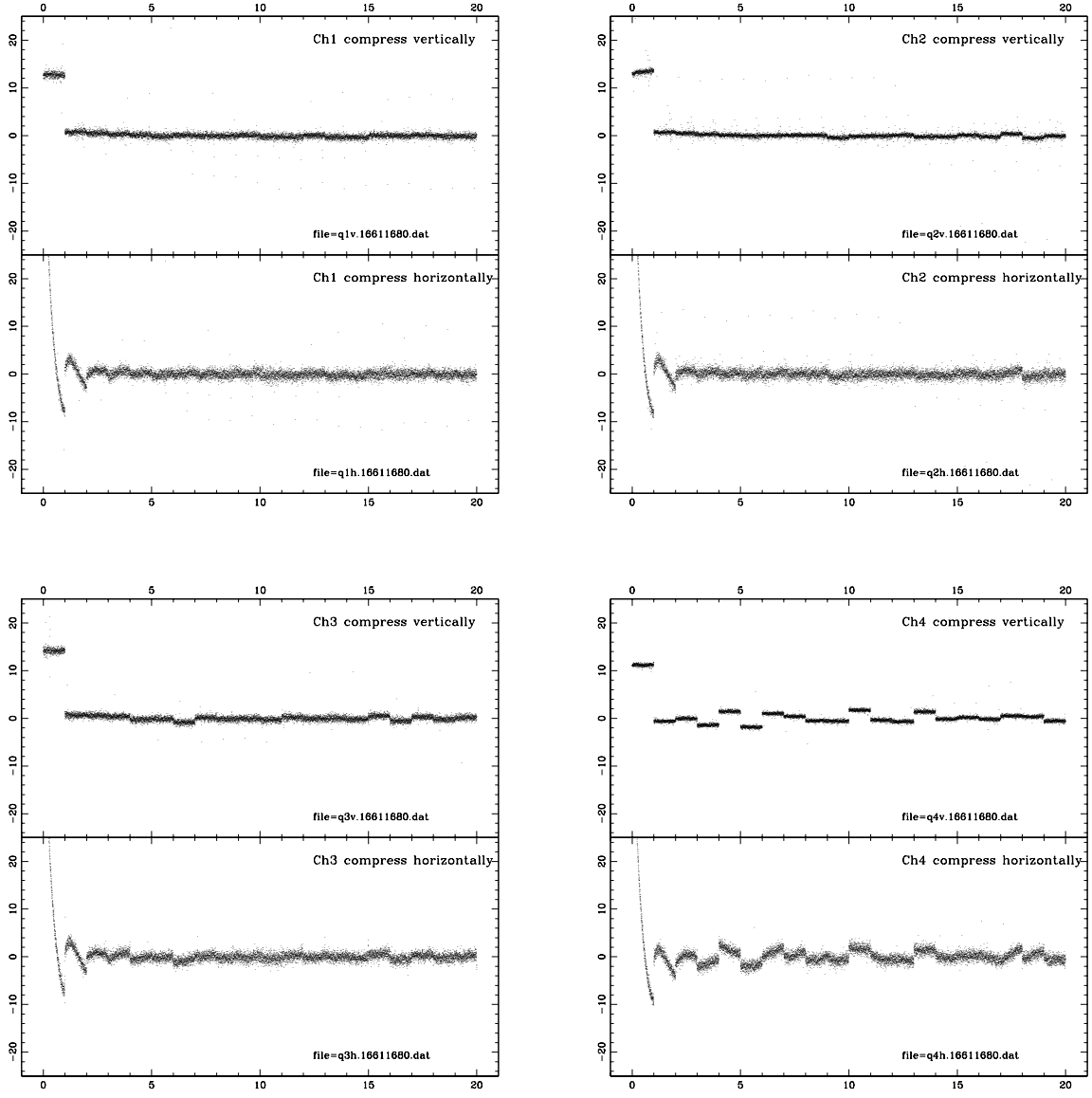


図 15: Frame=1661~1680 $T_{int}=3$ sec, $T_{det} \sim 88$ K, SW 電源 ON, 全保持電流 ON

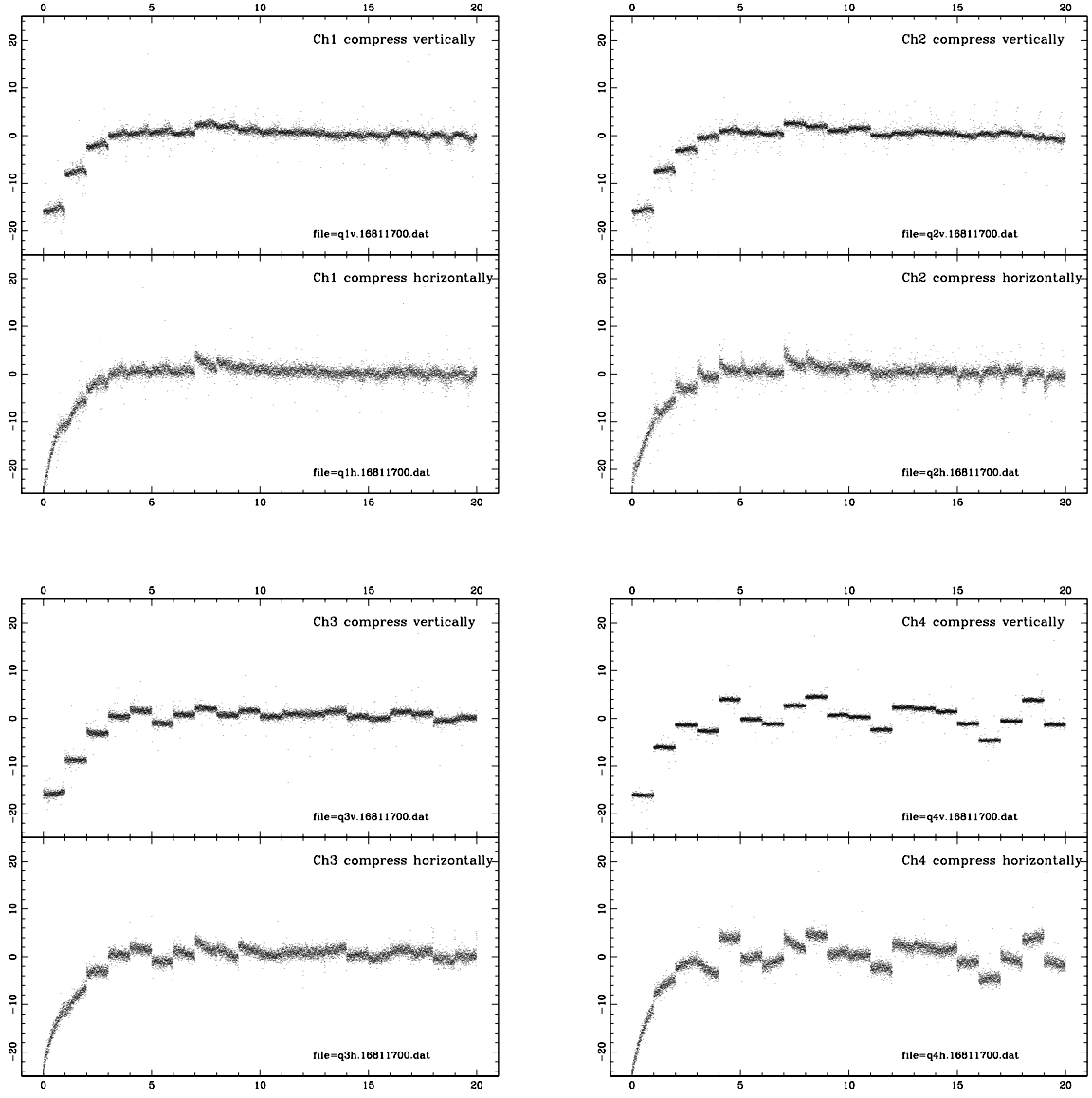


図 16: Frame=1681~1700 $T_{int}=3$ sec, $T_{det} \sim 88$ K, SW 電源 ON, 全保持電流 ON

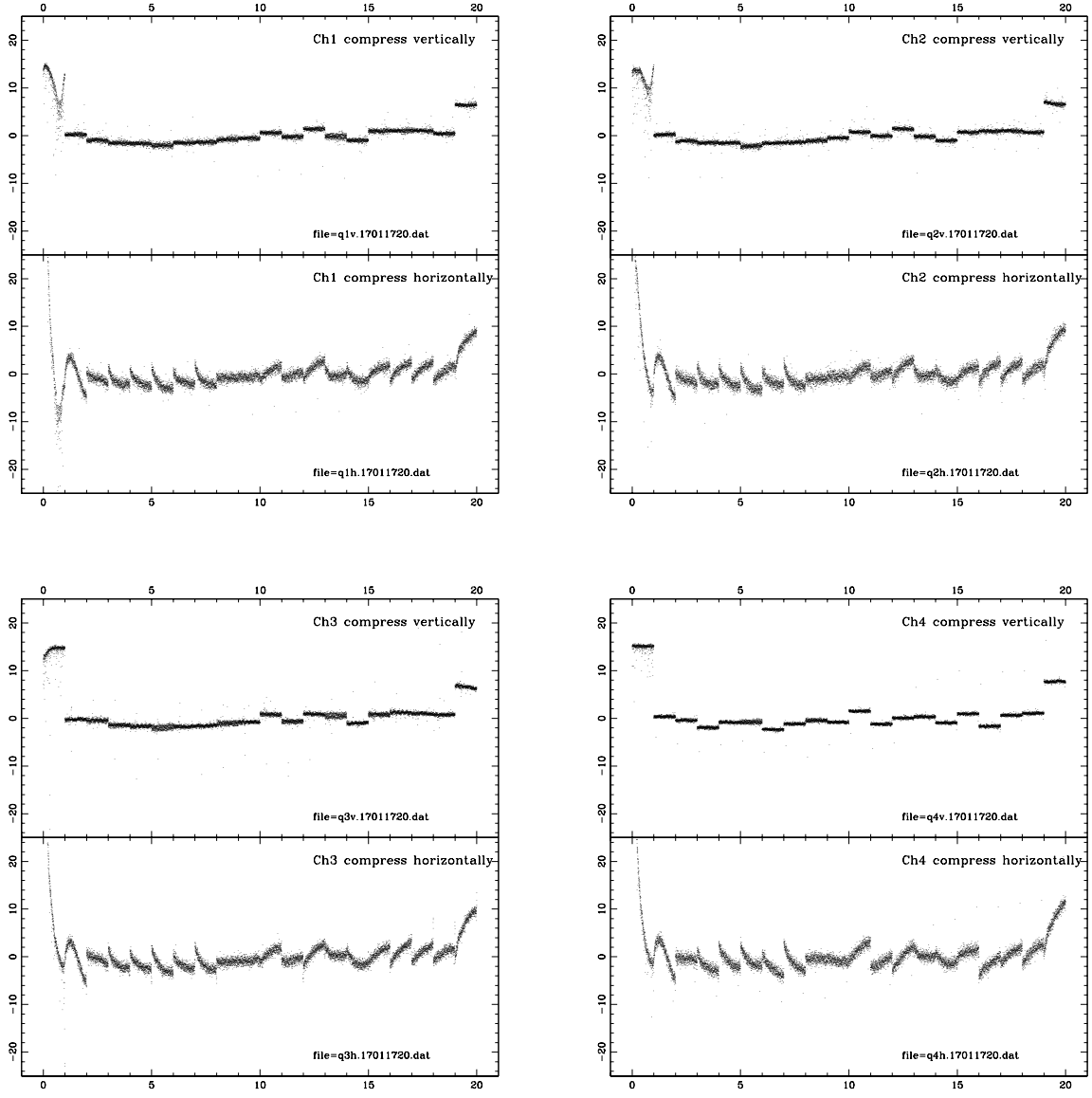


図 17: Frame=1701~1720 $T_{int}=3$ sec, $T_{det}=\sim 88$ K, SW 電源 ON, 保持電流 OFF

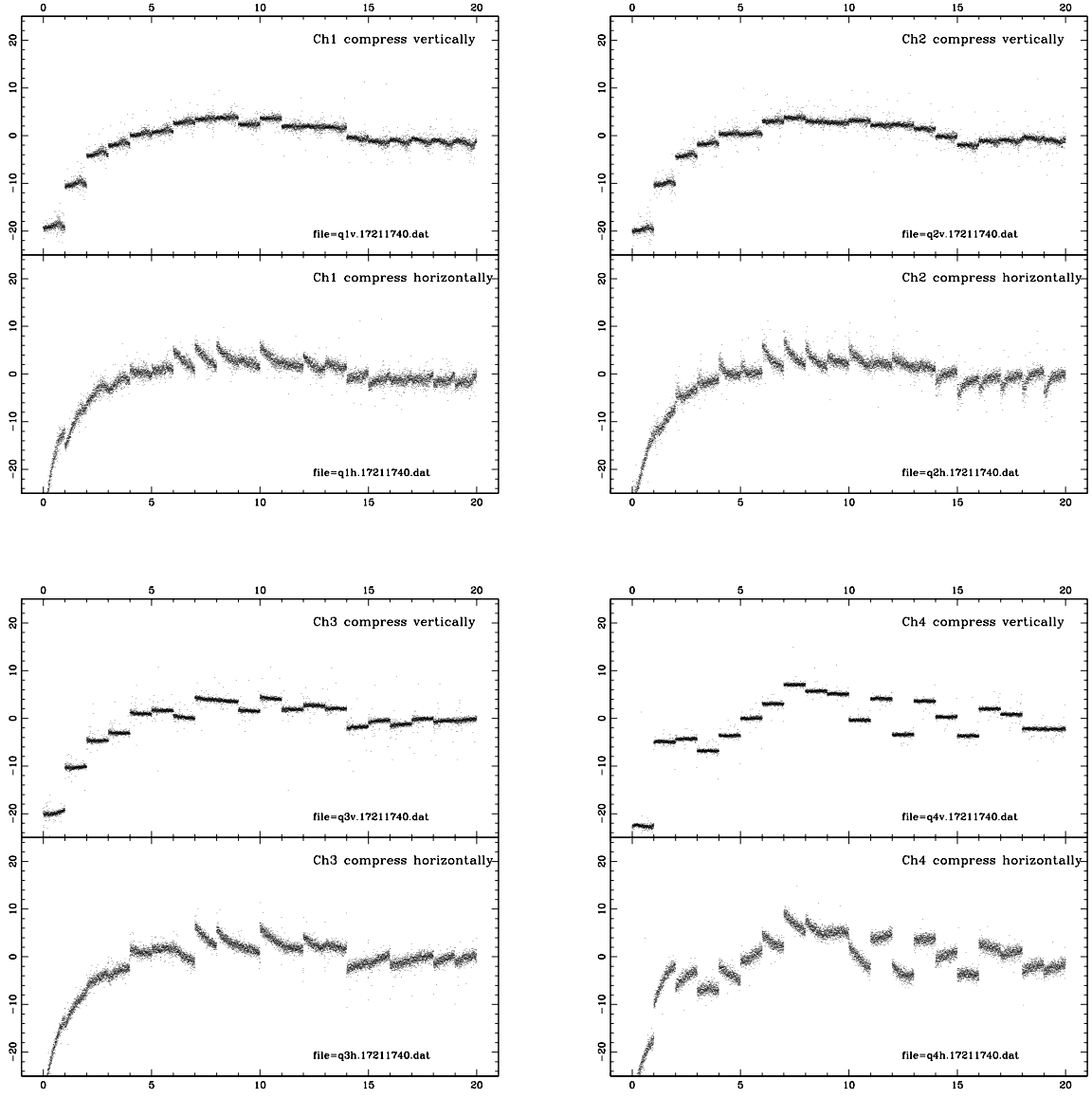


図 18: Frame=1721~1740 $T_{int}=3$ sec, $T_{det}=\sim 88$ K, SW 電源 ON, 保持電流 OFF