

## 第3章 TEM 法調査

### 3-1 調査の目的

TDIP 法により抽出された異常帯は鉱化帯の分布域を表し、鉱化帯中には硫化物鉱床が賦存する可能性がある。TEM 法は塊状硫化物鉱床のような導電性の物質に鋭く応答するため、TDIP 法で抽出された有望地において、硫化物鉱床の存否を判断し、その位置・形状などを推定する目的で固定大ループによる TEM 法を実施した。

### 3-2 調査位置及び調査量

TDIP 法による調査の結果、有望と考えられたラカー金鉱山地区、クルン・アル・アクバブ地区及びハイル・アス・サフィール地区において大ループによる TEM 法調査を第1年次に実施した。調査量の詳細は Table II-3-1 に示すとおりで、合計7ループで測定点は567点である。

Table II-3-1 Survey amounts of TEM

Area	Number of Loops	Number of Points
Rakah Gold Mine	1	81
Quron Al Akhbab	1	81
Hayl As Safil	5	405
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>567</b>

### 3-3 調査方法

#### 3-3-1 概要

TEM 法は、Fig. II-3-1 に示すようにループに電流を流して磁場を発生させる手法である。ループに流した電流を切断すると電磁誘導により大地に渦電流が発生する。渦電流は大地の比抵抗、導電体の比抵抗、形状、大きさなどに依存する。この渦電流がつくる2次磁場は時間変動する過渡電圧として磁気誘導コイルで受信され、この過渡電圧を測定することにより導電体を検出できる。電流切断直後の過渡電圧は地下浅部の比抵抗情報を表し、時間が経過するにつれて深部の情報を反映するようになる。

TEM 法は、1次磁場が存在しない状態での誘導磁場（2次磁場）を測定するので、データが1次磁場の影響を受けず、地下の比抵抗情報を安定して測定することができる。また、送受信機に内蔵した高精度の時計で同期をとることにより、電流の引荷切断の時間を正確に測ることができる。

#### 3-3-2 測定と配置

TEM 法の測定手法には数種類あるが、本調査では固定大ループを送信源として用いた固定ループを使用した。これにより探査能率が向上し、また、大ループを使うことにより、深部探査が

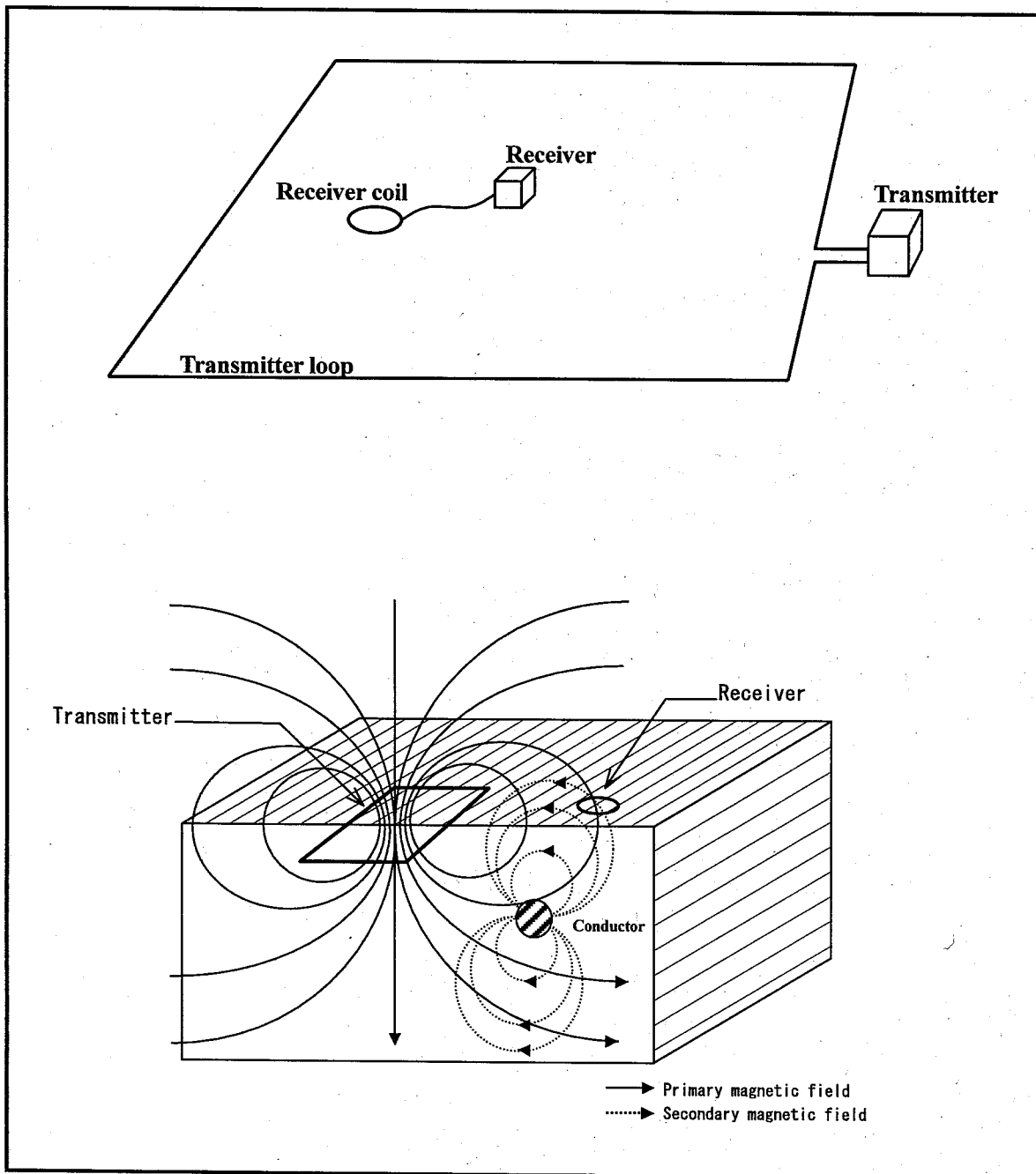


Fig. II-3-1 Schematic TEM survey configuration

可能となった。送信ループのサイズは  $600\text{m} \times 600\text{m}$  とし、TDIP で抽出された有望地を取り囲むように設置した。送信ループには  $6.0\text{mm}^2$  のビニール被覆銅線を使用し、送信電流は約  $10\text{A}$ 、送信電圧は約  $110\text{V}$  とした。

送信電流は休止波形で、電流の引荷・切断周波数は原則として  $25\text{Hz}$  とし、1ループにつき中心の1測点では  $2.5\text{Hz}$  でも測定した。測定はループの内側の  $400\text{m} \times 400\text{m}$  の範囲内にグリッド状に設けた  $50\text{m}$  間隔の測点で行った。

磁気誘導コイルでは2次磁場の変化を過渡電圧として出力するため、2次磁場が強い程、大き

な過渡電圧が測定される。

データの品質を高めるために3回以上の繰返し測定を行ない、その平均値を解析データとした。1回の測定でのスタッキング数は2<sup>8</sup>回である。25Hzでのサンプリング時間は、Table II-3-2に示すとおり電流切断後80-7,150 $\mu$ sの間で、20分割(ウィンドウ)で受信した。2.5Hzの場のサンプリング時間はすべてのウィンドウで25Hzの10倍となる。

Fig. II-3-2が測定された過渡電圧の減衰状況の例である。25Hzでの測定と2.5Hzでの測定を合成しており、サンプリング時間は80-71,500 $\mu$ sの間である。

電流切断後、送信電流が完全に零になるまでの時間(ターンオフタイム)は220 $\mu$ sであった。

Table II-3-2 Channel times after switch off

Channel Number	Sampling Time ( $\mu$ sec)	Window Width ( $\mu$ sec)
1	88	18
2	107	24
3	131	36
4	162	37
5	201	40
6	251	72
7	314	76
8	396	100
9	499	142
10	631	156
11	799	180
12	1,014	250
13	1,287	380
14	1,636	390
15	2,081	500
16	2,648	720
17	3,373	780
18	4,297	1,080
19	5,475	1,420
20	6,978	1,560

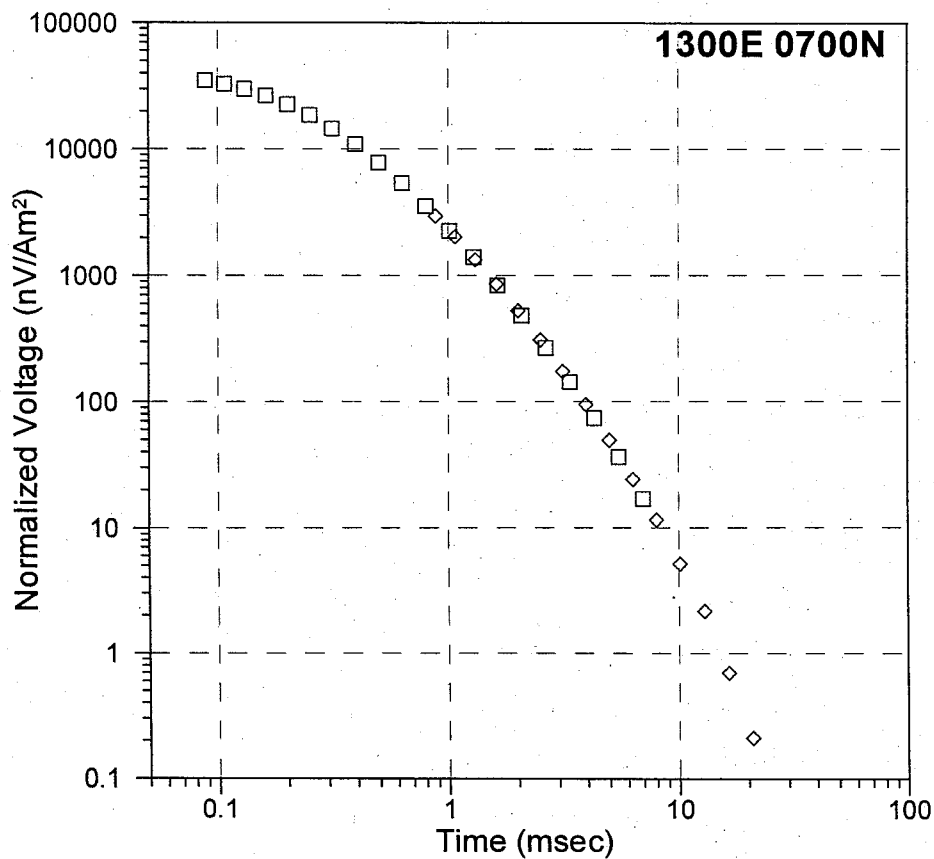


Fig. II-3-2 Example of TEM decay curve

### 3-3-3 測定機器

本調査で使用した装置はカナダ国 Geonics 社の Protem 電磁探査システムで、Table II-3-3 に示す機器で構成されている。

Table II-3-3 Specifications of TEM survey instruments

Items	Specification
Transmitter : EM-37	Max output:30A,180V
Generator : GPU-2000	5HP,120V,3phase,400Hz
Receiver : PROTEM	25Hz: 0.088-7.19ms 6.25Hz: 0.35-28.7ms 2.5Hz: 0.88-71.9ms
Magnetic Sensor	Induction Coil Effective area : 100m <sup>2</sup>

### 3-4 解析方法

2次磁場による過渡電圧の減衰状況は、大地や導電体の比抵抗に関係する。大地の比抵抗が高く、地下に導電体が存在しない場合は、過渡電圧は急激に減衰し、強度も小さい。逆に、導電体

が存在する場合はそこに強い渦電流が生じ、大きな2次磁場を発生するので過渡電圧も大きい。

この過渡電圧の大きさは導電体の比抵抗値に関係し、比抵抗値が小さいほど測定される過渡電圧が大きくなる。したがって、多くの測点で過渡電圧を測定し、その強度をチャンネル毎に平面的に表示することにより深度別に導電体の位置を推定することができる。

しかしながら、過渡電圧の強さは、比抵抗値に依存するのみでなく、送信ループと測点の位置関係にも左右され、均質あるいは水平多層比抵抗構造大地の場合では、送信ループの中央ほど測定される過渡電圧が強くなる。

したがって、測点位置の違いによる過度電位の強度の差を取り除き、導電体からの応答による過渡電圧だけを抽出する方法を試みた。以下にその方法について述べる。

送信ループの中心点での過渡電圧の測定値から水平多層比抵抗構造を求め、この構造を送信ループ内での平均比抵抗構造と仮定する。次に、平均比抵抗構造と測点位置(x, y)及びループのサイズをパラメータとして、各測点でチャンネル毎の過渡電圧  $B_c(x, y)$  を計算する。

各測点下の比抵抗構造が平均比抵抗構造に近く、かつ塊状硫化物などの導電体が存在しない場合、測定された過渡電圧  $B_o(x, y)$  は各チャンネルとも計算値にほぼ等しくなり、観測値と計算値の偏差  $\Delta B(x, y)$  は小さい。逆に平均比抵抗構造のなかに導電体が存在する場合、導電体の直上の測点での過渡電圧が大きくなるため、偏差は大きくなる (Fig. II-3-3)。

したがって、各測点でチャンネル毎に偏差を計算し、偏差分布図を作成することにより導電体の賦存状況を推定できると考えられる。つまり、偏差が大きい場所に鉱床が賦存する可能性が高い。

$$\Delta B(x, y) = \log(B_o(x, y) / B_c(x, y))$$

$\Delta B(x, y)$  : 過渡電圧の偏差(nV/A)

$B_o(x, y)$  : 測定値(nV/A)

$B_c(x, y)$  : 計算値(nV/A)

log : 対数

また、各チャンネルでの深度の推定には多層比抵抗構造のモデリングで用いられる境界面深度の式を用いた。

$$d = (500 * \rho * t)^{1/2}$$

$\rho$  : 平均比抵抗( $\Omega \cdot m$ )

$t$  : 時間(m 秒)

$d$  : 深度(m)

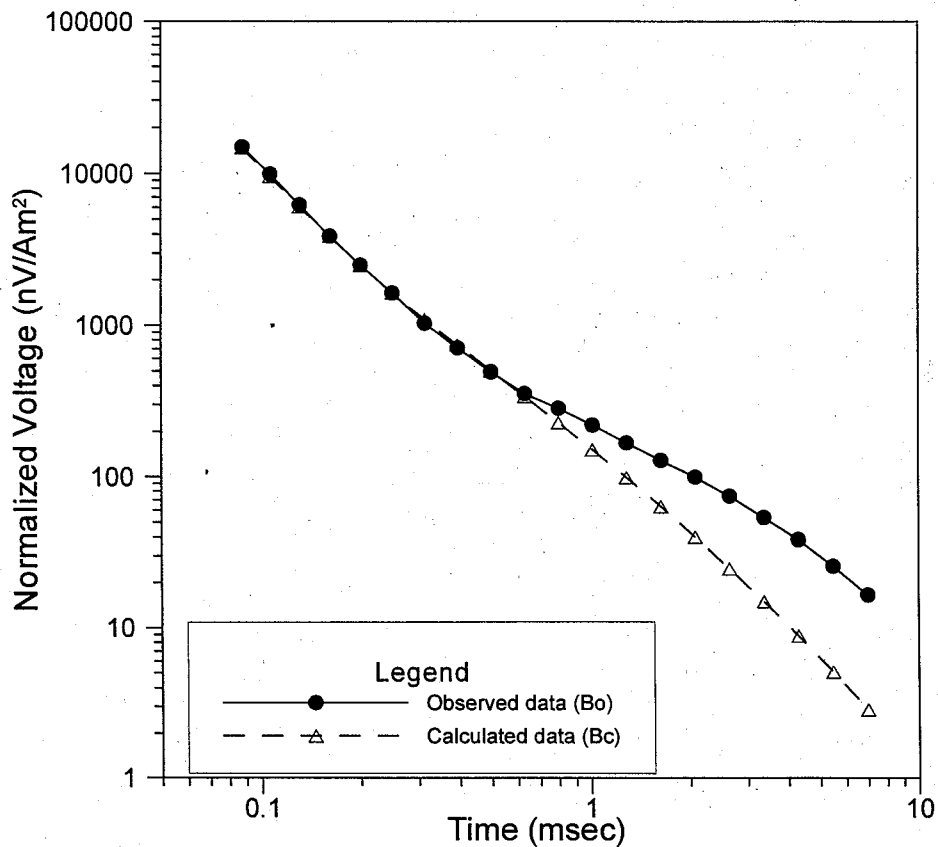


Fig. II-3-3 Observed and background TEM responses

### 3-5 調査結果

各地区のループ毎のチャンネルと深度の対応を Table II-3-4 に示す。但し、この深度は、ループの中心で取得されたデータを用いて行った 1 次元解析の結果の比抵抗構造から推定されたものであり、かならずしも真の深度を示すものではない。

TEM 法調査の探査深度は大地の比抵抗に依存し、高比抵抗部では深く、低比抵抗部では浅くなる。Loop-1 および Loop-2 が位置する調査地域東部は全体的に比抵抗が高いため、各チャンネルの探査深度が深くなっている。Loop-3~7 が位置するハイル・アス・サフィール地区は、鉱体や南部の堆積岩などの影響で全体的に低比抵抗となっているため、探査深度が浅くなっている。

文中では偏差分布を解釈する上で、便宜上、過渡電圧の偏差分布を磁場分布と呼称する。

#### 3-5-1 ラカー金鉱山

##### (1) 測点設定

TDIP 法調査により捕捉されたラカー金鉱山のオープンピット南東部の高分極率異常を精査する目的で TEM 法を実施した。測点間隔は 50m、測定範囲は 400m×400m、測定ループ数は 1 ループである。

調査位置を Fig. II-2-4, Fig. II-2-16 に示す。

Table II-3-4 Depth estimation in survey area

Channel	Rakah Gold Mine	Quron Al Akhbab	Hayl Al Safil				
	Loop-1	Loop-2	Loop-3	Loop-4	Loop-5	Loop-6	Loop-7
Ch-01	112	124	33	46	33	37	35
Ch-02	125	139	37	51	37	41	39
Ch-03	142	157	41	58	42	46	44
Ch-04	160	176	47	65	47	52	50
Ch-05	178	197	52	73	52	58	56
Ch-06	201	222	59	83	59	66	63
Ch-07	226	250	66	93	67	74	71
Ch-08	253	279	74	104	74	83	79
Ch-09	285	315	83	117	84	93	89
Ch-10	320	353	93	131	94	105	100
Ch-11	353	390	103	145	104	116	110
Ch-12	394	435	115	162	116	129	123
Ch-13	447	493	130	183	132	146	139
Ch-14	503	556	147	206	148	165	157
Ch-15	562	621	164	231	166	184	175
Ch-16	635	702	185	260	187	208	198
Ch-17	714	789	208	293	210	233	223
Ch-18	798	881	233	327	235	261	249
Ch-19	900	994	263	369	265	294	281
Ch-20	912	1,118	295	415	298	331	316

## (2) 測定結果

磁場分布平面図を Fig. II-3-4(1), (2) に示す。

浅部から中深部にかけて(Ch-01~Ch-10)オープンピットに対応する顕著な高磁場異常が認められる。深部では(Ch-15以深)ループの中心部付近を北東-南西方向に延びる高磁場異常が認められる。この高磁場異常帯のうち特に高い値を示している 400E, 1550N においてボーリング調査が実施された。

オープンピット内の一部の測点では、IP 効果によると思われる磁場の急激な減衰が認められた。分極率が高い物体が地表付近に存在した場合、電流切断後地下に流れる渦電流によって分極現象が起こり、時間が経過するとともに渦電流とは逆向きの電流が流れ、2次磁場が急激に減衰する。オープンピット内は地表に硫化物が認められる箇所があり、この影響で IP 効果が現れたと考えられる。

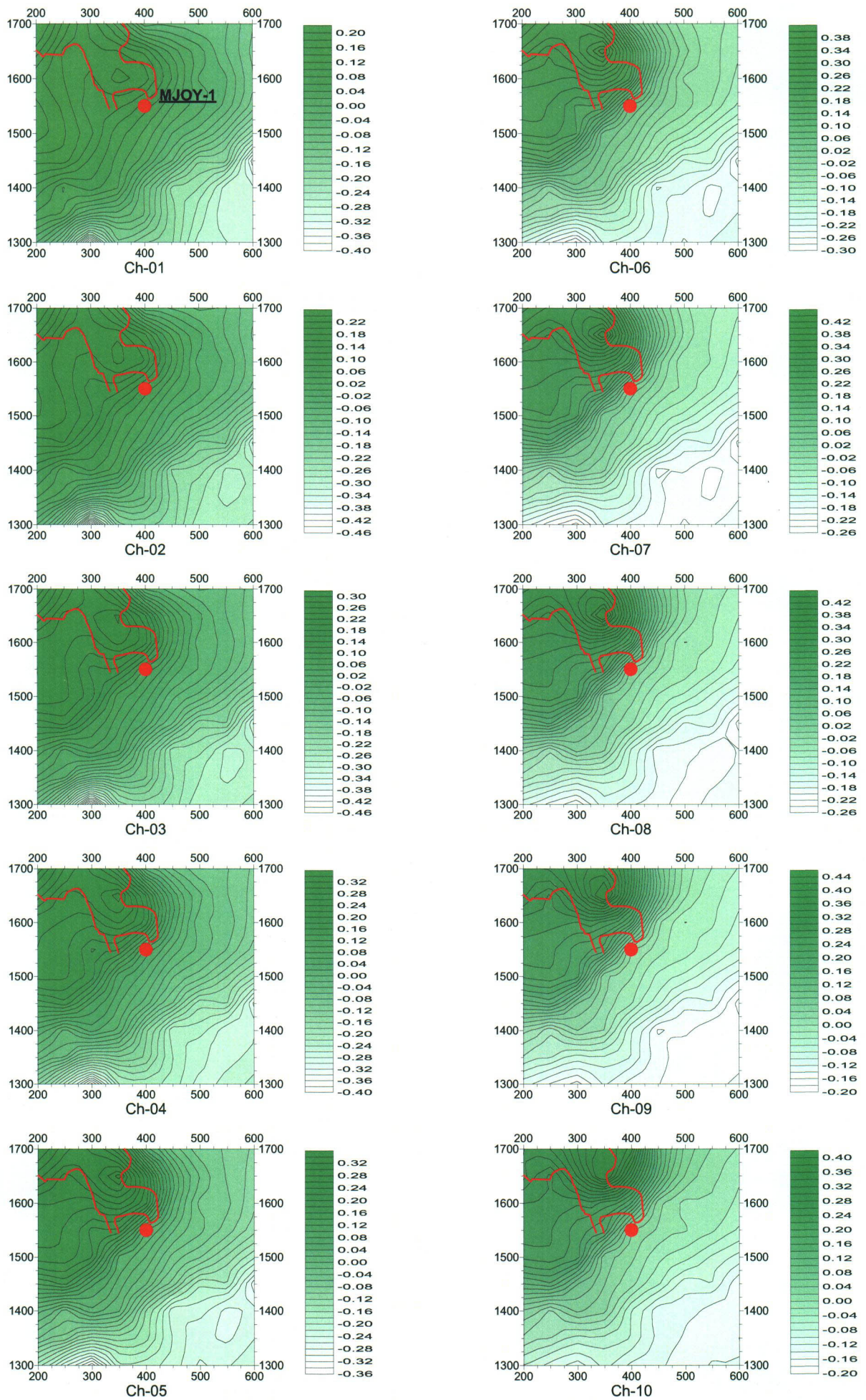


Fig. II -3-4(1) TEM response maps of Loop1 (Ch1-Ch10)



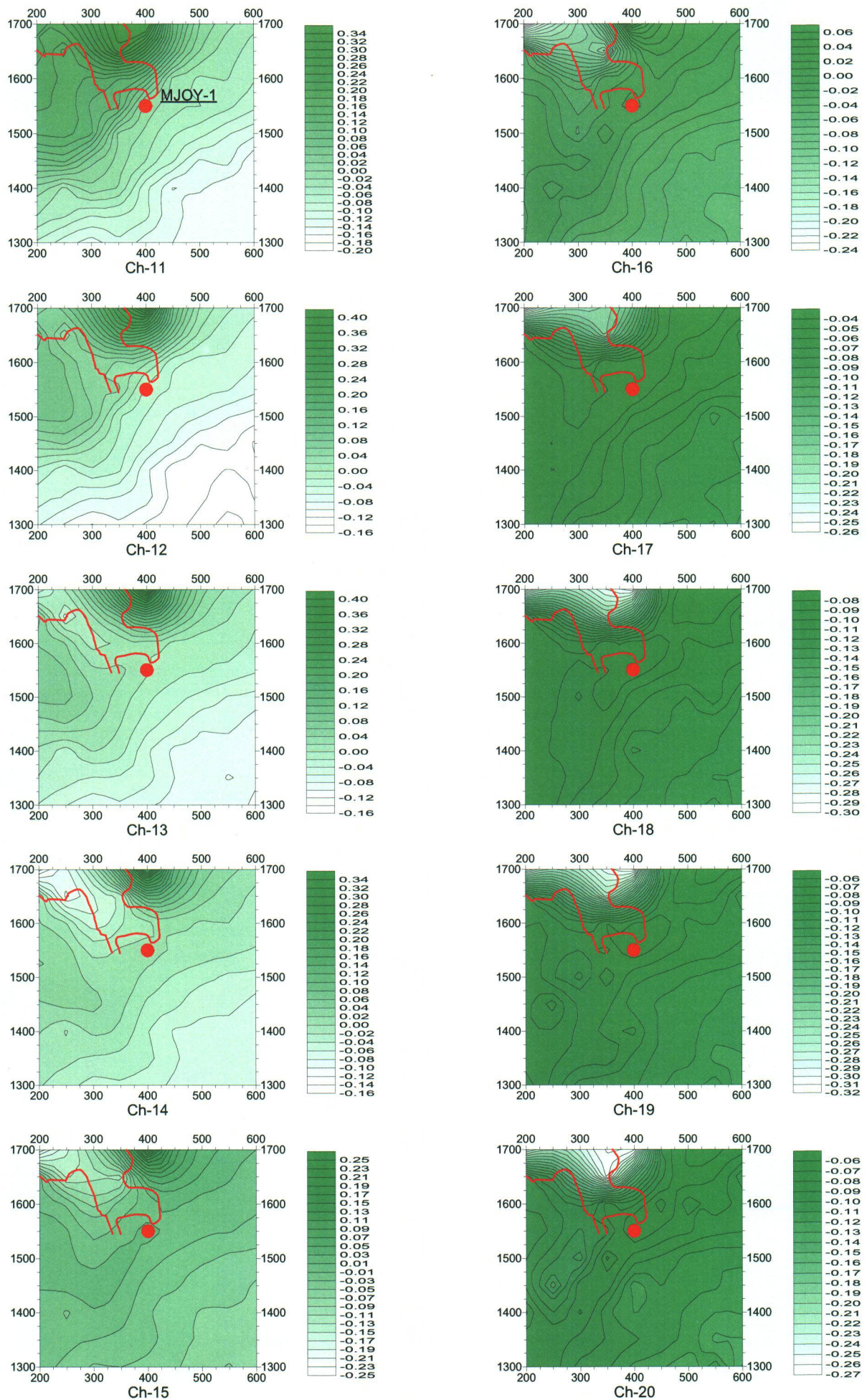


Fig. II -3-4(2) TEM response maps of Loop1 (Ch11-Ch20)

### 3-5-2 クルン・アル・アクバブ地区

#### (1) 測点設定

本地区では TDIP 法により低比抵抗・高分極率異常が捕捉された。塊状硫化物鉱床の可能性が考えられたため、TEM 法調査を実施した。TDIP 法で捕捉された低比抵抗帯をカバーするようにループを設定した。測点間隔は 50m、測定範囲は 400m×400m、測定ループ数は 1 ループである。

調査位置を Fig. II-2-4, Fig. II-2-21 に示す。

#### (2) 測定結果

磁場分布平面図を Fig. II-3-5(1), (2) に示す。

2800E, 1500N 付近を中心とする顕著な高磁場異常が浅部～中深部(Ch-01～Ch-12)に認められる。この高磁場異常に対してボーリング調査 (MJOY-3 孔) を実施したところ深部においてストックワーク鉱体に着鉱した。ボーリングのコア観察によると浅部～中深部では顕著な鉱化作用が認められないため、TEM 法調査で認められる高磁場異常は鉱化作用によるものではないと考えられる。本地区で実施したボーリング孔 5 本の全てでストックワーク鉱が確認されたが、捕捉された箇所は高分極率・中～高比抵抗 (TDIP 法調査)、低磁場強度 (TEM 法調査) の分布範囲とよく一致しているため、ストックワーク鉱体は高分極率・中～高比抵抗を示すものと考えられる。

### 3-5-3 ハイル・アス・サフィール地区

#### (1) 測点設定

本地区では、既知の鉱体による TDIP 異常が広い範囲に分布する。既知鉱体の構造の把握および新規鉱体の発見を目的として、TEM 法調査を実施した。既知鉱体のうち、ハイル・アス・サフィール鉱体、ビシャーラ鉱体およびアル・ジャディード鉱体をカバーする範囲にループを設定した。測点間隔は 50m、測定範囲は 400m×400m、測定ループ数は 5 ループ (Loop-3～7) である。

調査位置を Fig. II-2-4, Fig. II-2-31 に示す。

#### (2) 測定結果

##### Loop-3

磁場分布平面図を Fig. II-3-6(1), (2) に示す。

Loop-3 の調査範囲にはハイル・アス・サフィール鉱体とビシャーラ鉱体の一部が含まれる。

南西部のビシャーラ鉱体の範囲では、Ch-05 以深で 3850W, 1500N を中心とした高磁場異常が認められる。この高磁場異常は深部になるにつれて、南東方向に延びる傾向が見られる。ストックワーク鉱を主体とするハイル・アス・サフィール鉱体では全体的に顕著な磁場異常は認められないが、3700W, 1700N を中心として一部に高磁場異常が認められる。ここでは過去に実施されたボーリング調査で塊状硫化物鉱が確認されている。

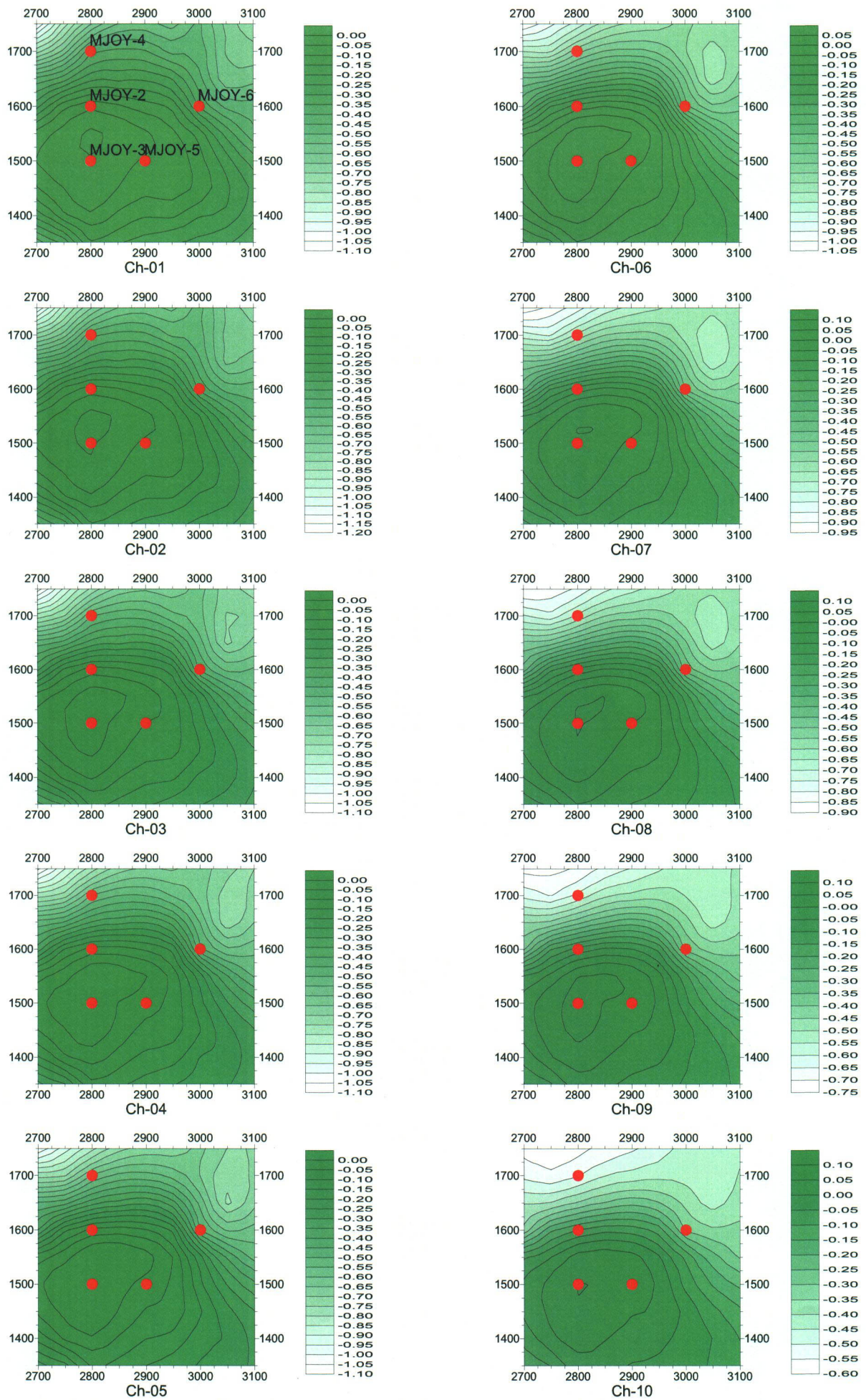


Fig. II -3-5(1) TEM response maps of Loop2 (Ch1-Ch10)

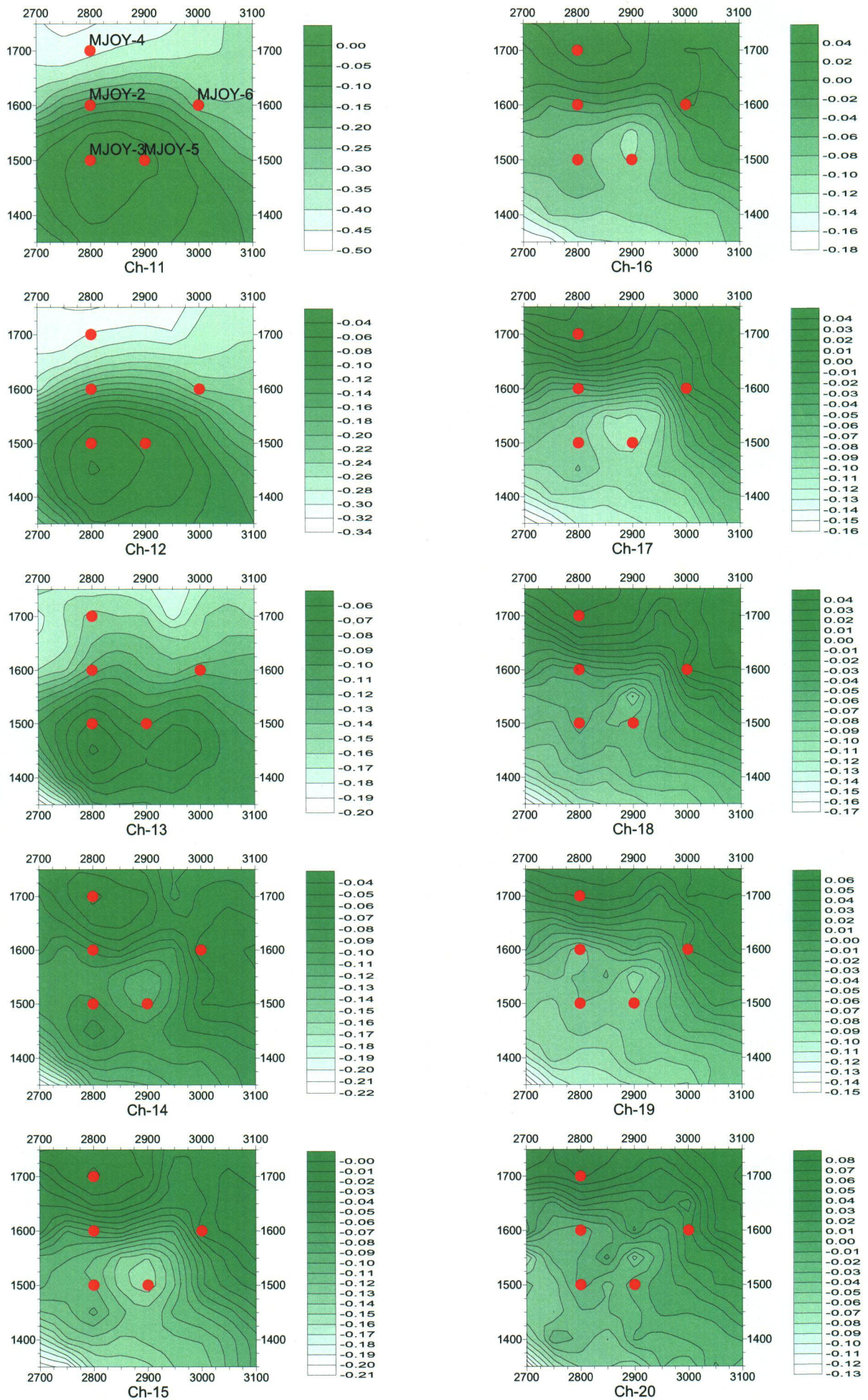


Fig. II -3-5(2) TEM response maps of Loop2 (Ch11-Ch20)

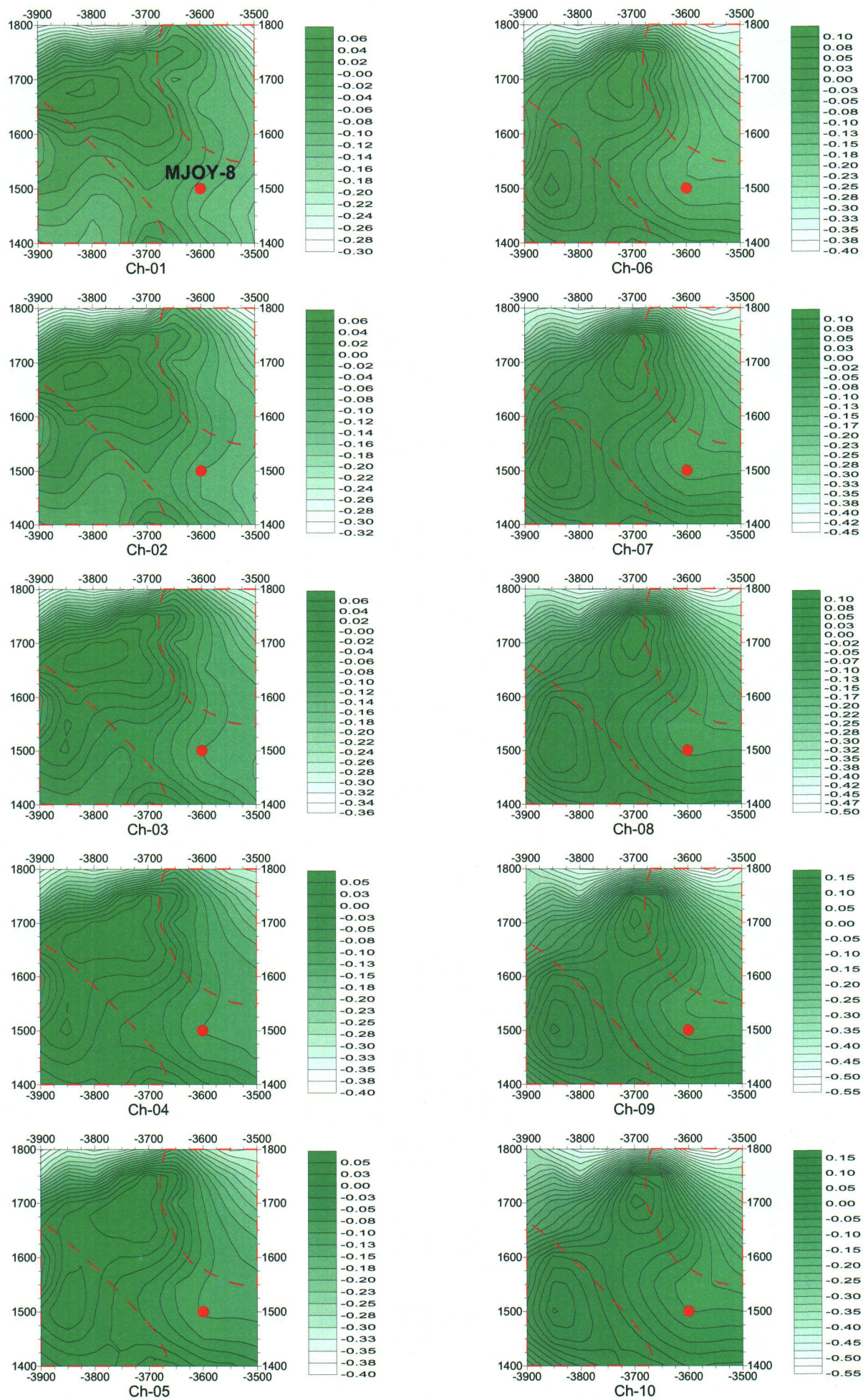


Fig. II -3-6(1) TEM response maps of Loop3 (Ch1-Ch10)

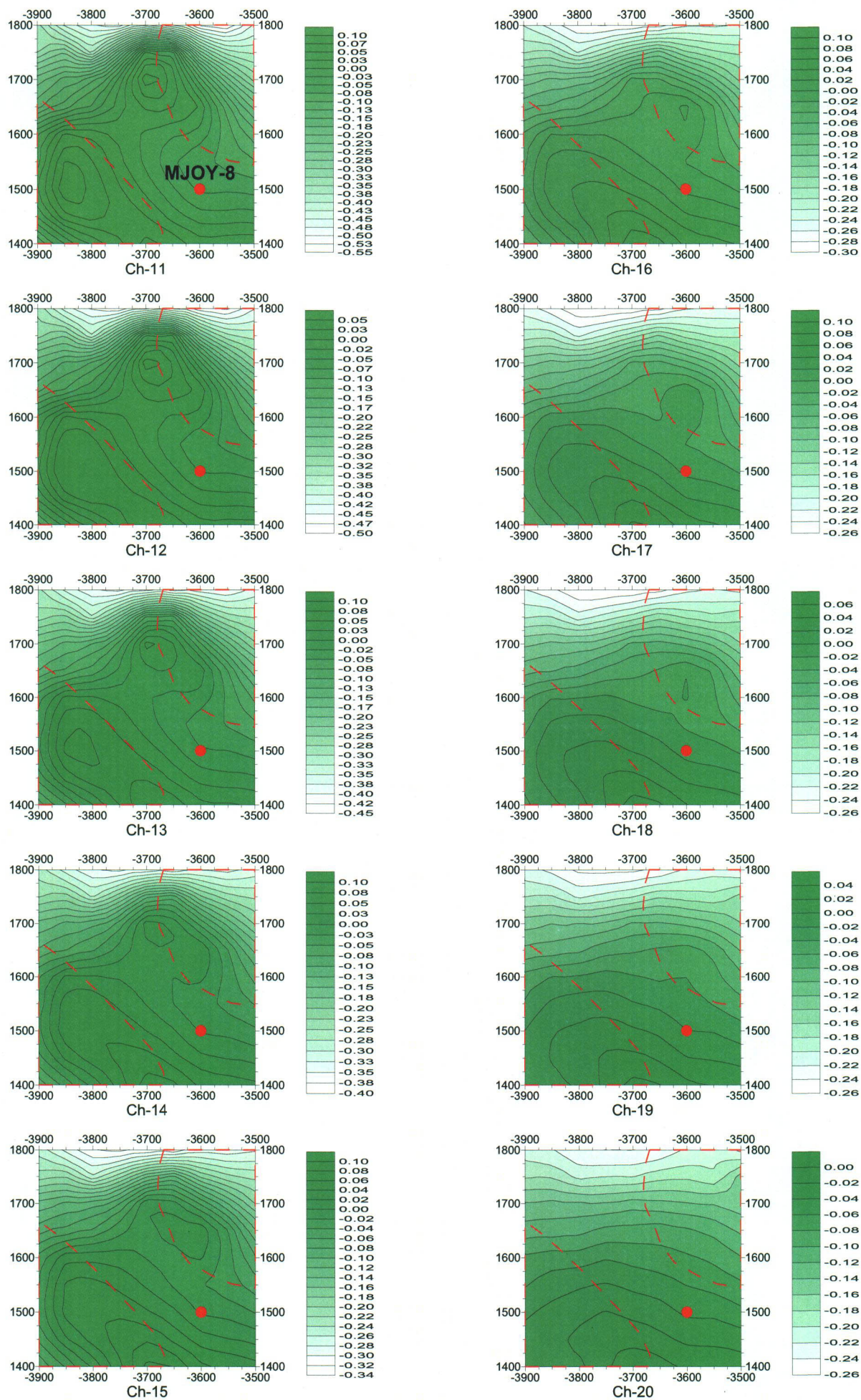


Fig. II -3-6(2) TEM response maps of Loop3 (Ch11-Ch20)