

四国地方の比抵抗構造—Network-MT 再解析—

Electrical Resistivity Structure in Shikoku District, Japan
 – Constrains from Network-MT data –

村上英記 (高知大学)・山口覚 (大阪市立大学)・塩崎一郎 (鳥取大学)
 Hideki Murakami (Kochi Univ.), Satoru Yamaguchi (Osaka City Univ.),
 and Ichiro Shiozaki (Tottori Univ.)

Abstract

This study aims to constrain electrical resistivity structures of central and western Shikoku district using Network-MT data. According to seismological study in Shikoku district it is clear that the physical conditions (V_p/V_s , seismic activity, etc.) of Philippine Sea plate boundary are non-uniform. It is necessary to improve accuracy of electrical resistivity structures around plate boundaries for making a comparison between seismic structures and electrical resistivity structures. We report the preliminary results of possibilities of existing high resistive plate in the central Shikoku and low resistive plate in the west Shikoku.

1. はじめに

近い将来発生が予想されている「南海トラフの地震」の震源域として、地震被害の歴史的な記録をもとに従来は南海地震、東南海地震、想定東海地震の大きく3領域が想定されてきた。しかし、これらが連動した地震もあり個別の震源域を限定した地震発生予測が見直されている（地震調査研究推進本部，2013）。従来の個別の震源域で破壊が止まるのか連動するのかを考察する上で、ユーラシア・プレートとフィリピン海プレートの力学的カップリング状態とプレート境界の物性が基本情報として考えられる。

四国地方の下に潜り込むプレートの形状や地震波速度、スラブ内地震の発生状況の詳細が地震学的に明らかにされている（例えば、弘瀬ほか，2007）。四国地方という狭い領域に限ってもスラブ内地震の発生場が異なっている。四国東部・中部ではスラブ内地震は海洋モホよりも下（海洋マントル）で発生しており、四国西部では海洋地殻内で発生している。また、四国東部・中部のスラブ内地震の発生領域の V_p/V_s は 1.59 から 1.66 程度であるが、四国西部では 1.80 以上である。四国西部から中部にかけての深さ 30km 付近に発生する低周波微動域の V_p/V_s は 1.80 以上である。低周波微動の発生原因については V_p/V_s の大きさなどからプレートからの脱水反応により供給された水による破壊強度の低下と解釈されることがあるが、スラブ内地震については単純に V_p/V_s の値では解釈できないように見える。

地震学的な手法とは独立した物性の評価手法として電磁気的な評価手法がある。電磁気学的な

手法では比抵抗構造を推定する。四国地方の全域の3次元比抵抗構造はまだ求められていないが、これまでに複数測線での観測と2次元比抵抗断面が求められている。四国東部域では、笹井ほか(1988), Yamaguchi et al.(1999), 首藤(2003), 塩崎ほか(2007), 鳥取大学(2011)などがある。四国中部域では、地殻比抵抗研究グループほか(1988,1989), 塩崎ほか(1988a,b), 塩崎(1993)がある。四国西部では、山口(1998), 平井ほか(2001), 鳥取大学(2009), 山下ほか(2009,2010)がある。四国東部域では、地震学的な構造と調和的な比抵抗構造(Yamaguchi et al.,1999;鳥取大学,2011)が提案されている。四国東部の比抵抗断面として鳥取大学(2011)による比抵抗構造を図1に、中部の比抵抗断面として塩崎(1993)によるものを図2に、そして西部の比抵抗断面として鳥取大学(2009)を図3に示す。四国東部の構造は地震学的な構造との対応が極めて良いが、四国中・西部では地震学的な構造と比較するに十分な精度の比抵抗構造とは必ずしも言えない。

本研究では、四国中・西部域で観測された Network-MT 電場データを用いて周期 1000 秒から 10000 秒のより長周期側の MT 応答関数を再解析し、下部地殻からプレート周辺の比抵抗構造に制約を与えられないかを検討する。

2. Network-MT データ

四国における Network-MT 電場観測は、山口(2014)の中四国のレビューに観測点の分布が紹介されているが、6期に分けて実施されている。第一期(1994年11月-12月)には土佐山田・大杉・安芸・室戸・牟岐、第二期(1995年2月-5月)に徳島・脇町・三本松、第三期(1995年7月-12月)には阿南・丹生谷・高松・阿波池田・丸亀・観音寺、第四期(2000年1月-3月)には松山・大洲・宇和・城川、第五期(2000年4月-8月)には頭集・橋上・土佐清水・土佐中村、そして第六期(2000年6月-12月)には頭集2・檜原・東津野・窪川・木屋ヶ内・大方で実施されている。

瀬戸内海側は電化されている JR からの漏洩電流が大きく、高知市・高松市及び松山市周辺は路面電車からの漏洩電流が大きく S/N が悪い。また、JR が電化されていない地域でも S/N の悪い観測点(大杉, 城川, 宇和)がある。

3. Network-MT データによる比抵抗構造の制約

四国中部の塩崎(1993)による比抵抗モデルでは下部地殻からマントル・プレートにかけての構造は四国東部の比抵抗構造とはかなり異なっている。どの程度、東部と中部の構造が有意なものかを調べるために土佐山田, 大杉, 阿波池田における Network-MT 観測データと気象庁柿岡観測所における地磁気観測データを使用して MT 応答関数を Birrp(Chave and Thomson,2004)を用いて計算した。比較的信頼度の高い結果の得られた大杉の MT 応答関数の結果を図4に示す。1点のみのデータなのでここでは、比抵抗モデル(図5)による理論的な MT 応答関数(図6)との比較をする。フォワード計算は Uchida and Ogawa(1993)を用いておこなった。フォワード計算の比抵抗構造モデル(図5)は、四国東部の比抵抗構造モデル(Yamaguchi et al.,1999;鳥取大学,2011)を参考にして、上部地殻を $100\Omega\text{m}(20\text{km})$, 下部地殻 $1000\Omega\text{m}(20\text{km})$, 上部マントル $50\Omega\text{m}(360\text{km})$, 下部マントル $1\Omega\text{m}$, 海洋地殻 $75\Omega\text{m}(10\text{km})$, プレート $5000\Omega\text{m}(20\text{km})$ とし太平洋・瀬戸内海・日本海を構造に入れ、た。大杉は太平洋側の海岸線から約 26km に位置してい

るので MT 応答関数（図 6）の 26.5km の MT 応答特性を見ると位相の変化は観測から得られた MT 応答関数の位相差の特徴をよく表現していることが分かる。

四国西部域では西南日本外帯の上部地殻内に数 Ωm 以下の低比抵抗層が存在するという特徴をもった 2 次元比抵抗断面が鳥取大学(2009)や山下ほか(2009,2010)により報告されている。下部地殻以下は 10 Ωm から 100 Ωm の範囲に求められており構造の差を示唆するような明瞭なコントラストが見られない構造になっている。ここでは城川で得られた Network-MT データから得られた 0.01Hz から 0.0001Hz の MT 応答関数を鳥取大学(2009)による広帯域 MT 観測のもっとも近い観測点の MT 応答関数に接続を試みた（図 7）。このデータを新たに付加して広帯域 MT データを用いてインバージョン（TM:位相，TE:比抵抗，位相を採用）により得られた 2 次元比抵抗断面を図 8 に示す。現状では収束状況が十分ではなく上部地殻の不均質が強調される結果になっているが、下部地殻・マントル・プレート構造を表すようなコントラストはやはり見えていない。

4. 今後の課題

本研究では、Network-MT データを用いて四国中・西部の既存の比抵抗構造の下部地殻よりも下の構造について何らかの制約が与えられないかを、フォワード計算との比較、MT 応答関数の接続により試みた。極めて限られたデータによるものであるため、さらなる調整が必要であるが次のようなことが分かった。

既存の四国中部域の比抵抗構造は、極めて低比抵抗な下部地殻とプレートが特徴であり四国東部とは様相が異なる構造であるが、Network-MT データによるより長周期の MT 応答関数を説明する構造としては四国東部の比抵抗構造モデルに近い構造でもある程度説明が可能性であることが示唆された。位相差特性については観測値と理論値の傾向が良くあっている。

四国西部域については上部地殻内の極めて低比抵抗な層の存在とその下部のコントラストのない構造が特徴であった。上部地殻内の低比抵抗層によりそれより下部の情報が見えていない可能性もあったが、Network-MT による 0.01 から 0.0001Hz までの MT 応答関数を追加した結果でも桁で変化するような比抵抗の構造上のコントラストは見いだせなかった。Network-MT の位相差特性もほぼ 45° であるため大きなインピーダンスの変化は存在しないのか、存在しても極めて厚さが小さいために認識することが難しいのかもしれない。

これらはまだ予察的な結果でありさらに詳細な検討が必要であるが、精度を上げるためにはさらなる広帯域 MT や Network-MT 観測ものぞまれる。

謝辞

本研究の解析には東京大学地震研究所により取得された Network-MT 電場データと気象庁柿岡観測所の地磁気データを使用しましたので、ここに感謝いたします。宇都智史氏（鳥取大学大学院工学研究科プロジェクト研究員）には解析の一部を支援して頂きました。また、本研究の一部は JSPS 科学研究費(24540454)の助成を受けて行いました。

参考文献

- Chave,A.D.,and D.J.Thomson, 2004, Bounded influence estimation of magnetotelluric response functions. *Geophys.J.Int.*, 157, 988-1006.
- 地殻比抵抗研究グループ・塩崎一郎・安川克巳・住友則彦, 1988, 中国・四国地方の電磁気共同観測 (予報). *Conductivity Anomaly* 研究会論文集, 105-112.
- 地殻比抵抗研究グループ・大久保晃・小川康雄・塩崎一郎・山口 覚・一北岳夫・藤田清士・安川克巳・藤原 智・住友則彦, 1989, 四国地方の地殻比抵抗構造(I). *Conductivity Anomaly* 研究会論文集, 55-72.
- 平井理華子, 塩崎一郎, 村上英記, 足立英二, 宇都智文, 前田和彦, 高木典子, 大志万直人, 2001, 四国地方西南部の地殻比抵抗構造調査, 2001年合同大会予稿集, Eq-P008.
- 弘瀬冬樹・中島淳一・長谷川 昭, 2007, Double-Difference Tomography 法による西南日本の3次元地震波速度構造およびフィリピン海プレートの形状の推定. *地震* 2, 60, 1-20.
- 笹井洋一・中川一郎・武井達明・小山 茂・歌田久司・浜野洋三・吉野登志男・行武 毅, 1988, 四国南東部の ELF-MT 調査. *Conductivity Anomaly* 研究会論文集, 120-127.
- 塩崎一郎, 1993, 中国・四国地方の電気比抵抗構造に関する研究. 神戸大学博士論文, 268pp.
- 塩崎一郎・安川克巳・住友則彦, 1988a, 中国・四国地方の電磁気共同観測 (予報). *Conductivity Anomaly* 研究会論文集, 105-112.
- 塩崎一郎・野木義史・山口 覚・大久保 晃・一北岳夫・安川克巳・藤原 智・住友則彦, 1988b, 中国・四国地方の ELF・VLF-MT 観測. *Conductivity Anomaly* 研究会論文集, 113-119.
- 塩崎一郎・望戸裕司・大志万直人・野口竜也・矢部征, 2007, 中国・四国地方東部の比抵抗構造 (第一報). 日本地球惑星科学連合 2007年大会予稿集 (CD-ROM), S153-P003.
- 首藤史朗, 2003, 電気伝導度から見た中国・四国地方の深部構造. 神戸大学大学院自然科学研究科, 修士学位論文.
- 鳥取大学, 2009, 沈み込む海洋プレートの形状と脱水反応による液体分布の解明, 「地震予知のための新しい観測研究計画 (第2次)」平成20年度年次報告 (機関別), 科学技術・学術審議会測地学分科会地震部会観測研究計画推進委員会, 文部科学省研究開発局・防災研究課, pp.298-301.
- 鳥取大学, 2011, 中国・四国地方の電気比抵抗構造と地震・火山活動の関連に関する研究, 「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」平成22年度年次報告 (機関別), 科学技術・学術審議会測地学分科会地震部会観測研究計画推進委員会, 文部科学省研究開発局・防災研究課.
- Uchida,T. and Y.Ogawa, 1993, Development of Fortran code for two-dimensional magnetotelluric inversion with smoothness constraint. Geological Survey of Japan Open-File Report, No.205, 115pp.
- 山口高広, 1998, 四国地方の地殻比抵抗構造に関する研究, 鳥取大学大学院工学研究科修士論文, 52pp.
- Yamaguchi,S., Kobayashi,Y., Oshiman,N., Tanimoto,K., Murakami,H., Shiozaki,I., Uyeshima,M., Utada,H., and Sumitomo,N., 1999, Preliminary report on regional resistivity variation inferred from the Network MT investigation in the Shikoku district,

southwestern Japan. *Earth Planets Space*, 51, 193–203.

山口 覚, 2014, 中国・四国地方および紀伊半島でのネットワークMT観測 — 観測の概要と成果のレビュー —. *Conductivity Anomaly* 研究会論文集, 61-67.

山下 太・小原一成, 2009, 広帯域 MT 法探査から推定された四国西部の地殻構造. 日本地震学会講演予稿集, P2-56.

山下 太・小原一成, 2010, 広帯域 MT 法探査が示す低周波微動発生域周辺の特徴的比抵抗構造. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集 (CD-ROM), SCG085-P03.

地震調査研究推進本部, 2013, 南海トラフの地震活動の長期評価 (第二版) について. http://www.jishin.go.jp/main/chousa/13may_nankai/index.htm

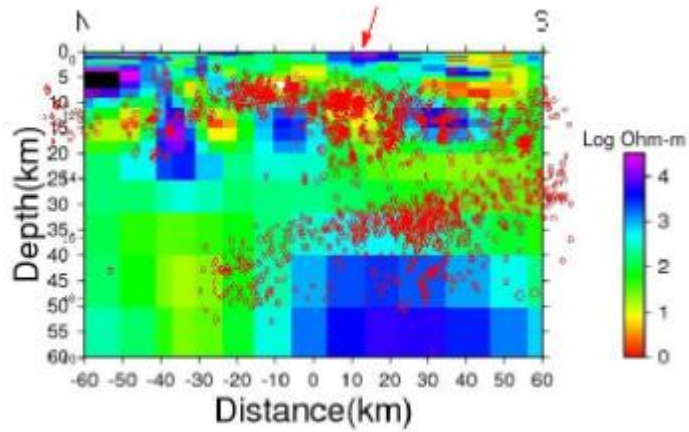


Fig.1 Two dimensional resistivity structure in the eastern part of Shikoku district (Tottori Univ.,2011)

Red circular: seismic hypocenter

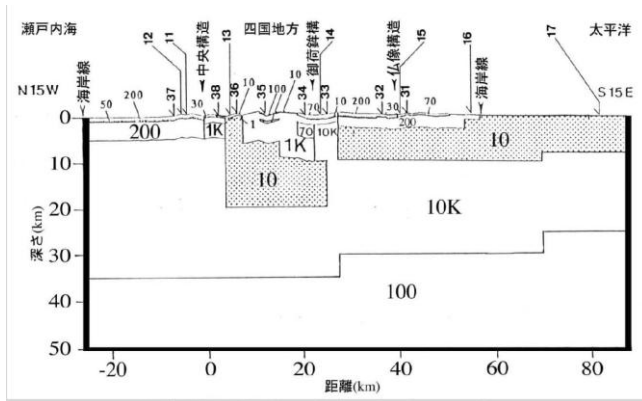


Fig.2 Two dimensional resistivity structure in the central part of Shikoku district (Shiozaki,1993)

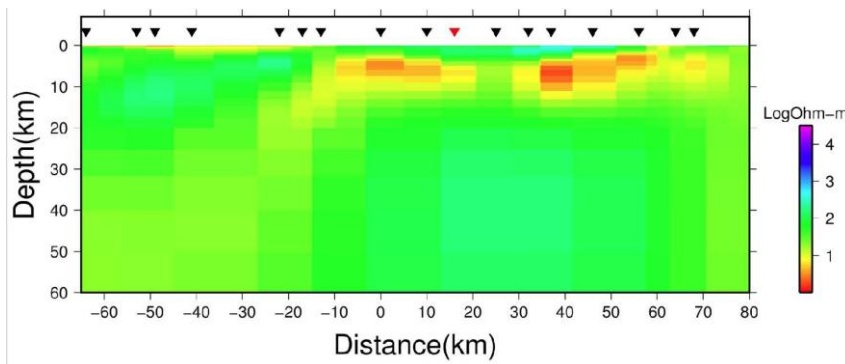


Fig.3 Two dimensional resistivity structure in the western part of Shikoku district (Tottori Univ.,2009)

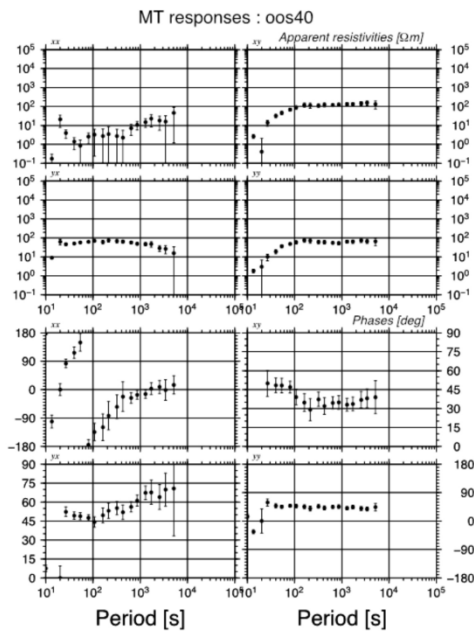


Fig.4 MT response functions at Osugi
Osugi is located 26km north form shoreline.

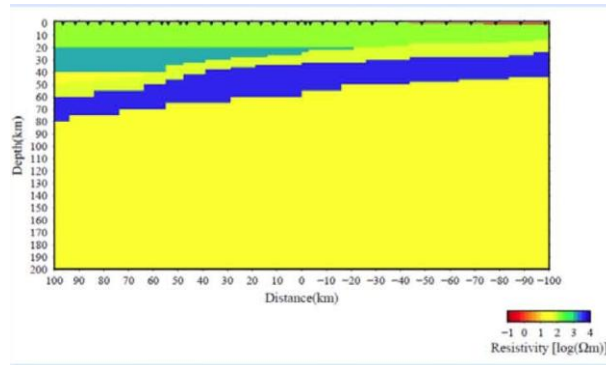


Fig.5 Resistivity structure in the central part of Shikoku for calculation of MT response functions
upper crust: 100Ωm, lower crust: 1000Ωm
upper mantle: 50Ωm, lower mantle: 1Ωm
oceanic crust: 75Ωm, plate: 5000Ωm

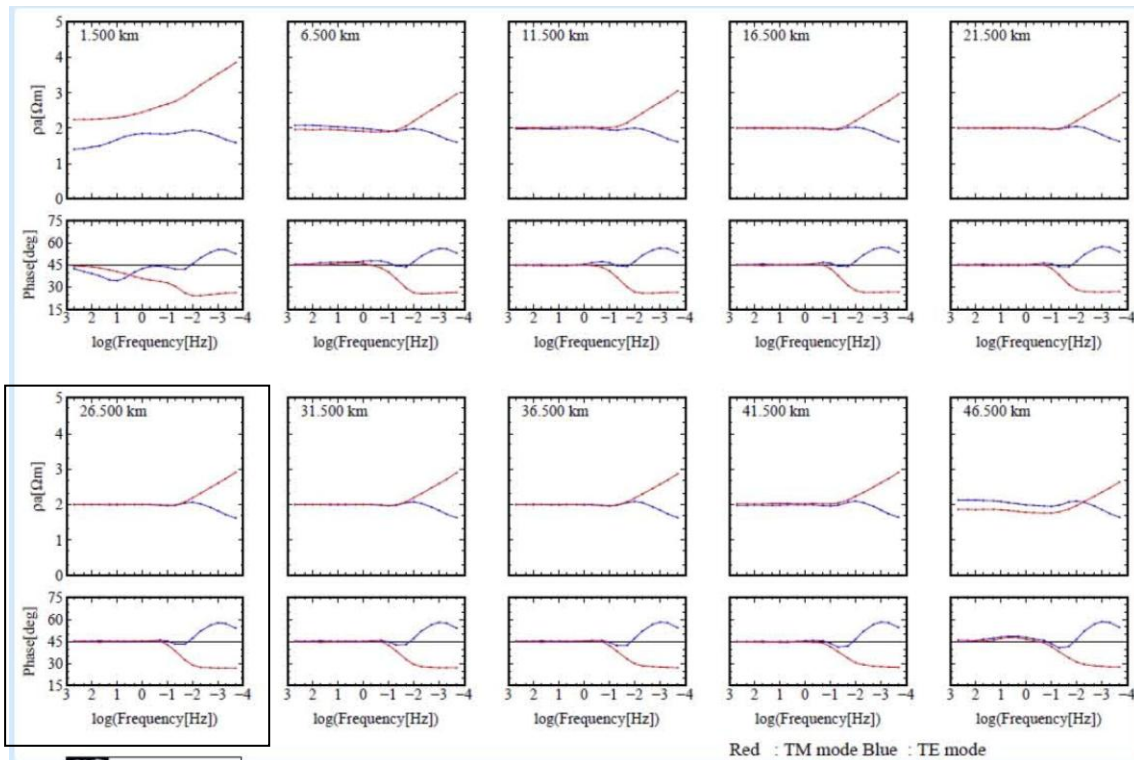


Fig.6 Theoretical MT response functions for electrical resistivity model shown in Fig.4

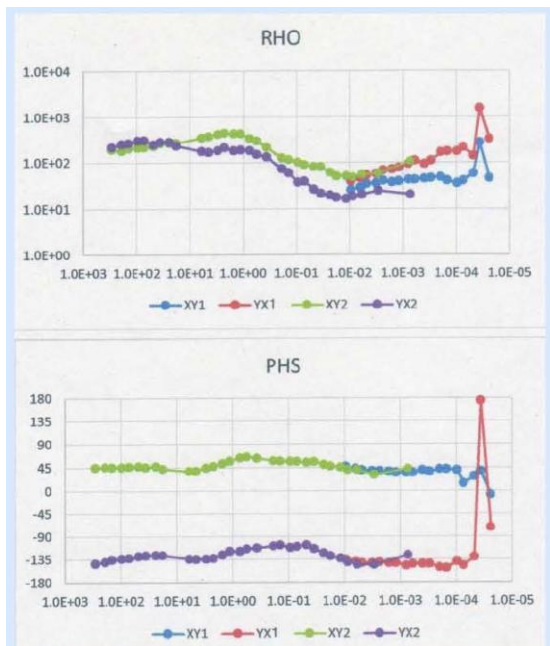


Fig.7 Combined MT response functions near Shirokawa
 500-0.001Hz: broad-band MT respons functions (Tottori Univ.,2009)
 0.01-0.0001Hz: Network-MT response functions at Shirokawa

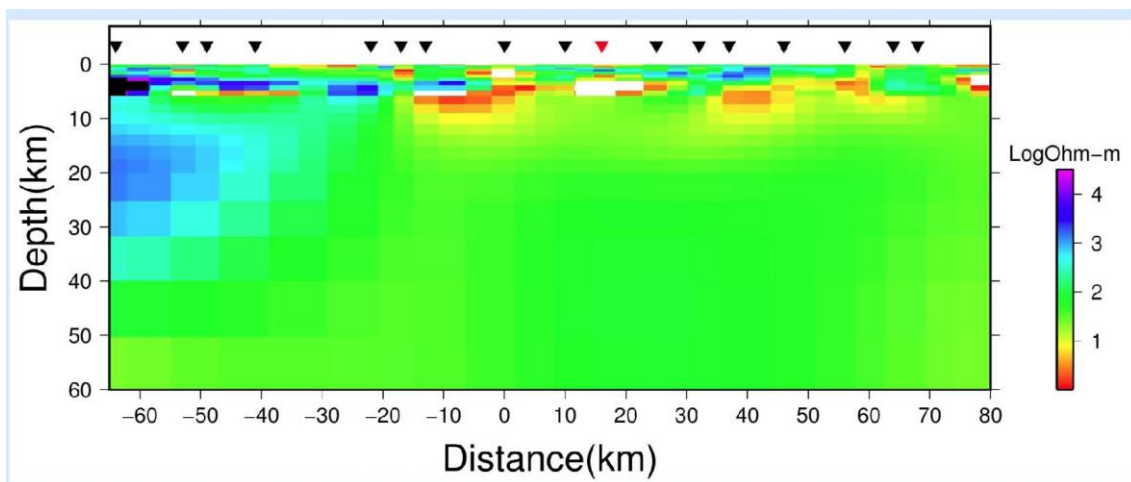


Fig.8 Resistivity structure in the western part of Shikoku district using combined MT response functions