

機関番号：25403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560362

研究課題名（和文）VHF帯およびMF帯における地震電磁現象に関する研究

研究課題名（英文）Research for Seismic Electromagnetic Phenomena in VHF and MF Bands

研究代表者

吉田 彰顕 (YOSHIDA TERUAKI)

広島市立大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：50316139

研究成果の概要（和文）：VHF帯・MF帯見通し外電波伝搬特性について研究した。MF帯では、日の出・日の入りに呼応し、受信レベルが大きく変動することを確認した。また、VHF帯では、その受信レベルが20dB近く上昇する現象を、夜間に頻繁に観測した。その原因は大気屈折指数変動であることを明らかにした。2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震（M9）が発生した。地震電磁現象は極めて微弱な現象であることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Received levels of non-line-of-sight in VHF and MF bands have been continuously observed in day and night. Observation results as follows: The received levels in MF band fluctuated with good correlation at sunrise and sunset. The received levels in VHF band frequently increased about 20 dB in midnight. It was confirmed that the phenomenon was due to fluctuation of aerological atmospheric refractivity. Tohoku-Pacific Ocean Earthquake occurred on 11th March 2011. It was confirmed that the electromagnetic phenomenon associated with the earthquake was feebler than that with aerological atmospheric refractivity.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：通信方式（無線，有線，衛星，光，移動），電波伝搬，VHF帯，MF帯

1. 研究開始当初の背景

(1) 国内外の研究動向：地震電磁現象の観測は国内の外多くの研究機関で行われており、観測周波数帯も直流からVHF帯まで、各種の周波数帯で行われている。これまで各観測機関から多くの観測データが報告されているが、地震との関連を示す科学的根拠が曖昧であったり、人工ノイズや地震以外の他の現象との識別が不十分だったり、必ずしも十分な理解を得るには至っていない。また、多くの研究機関はそれぞれ得意とする一つの周波数帯で観測を行っているケースが多い。本研

究の特徴は複数の観測点で伝搬特性の異なる周波数帯（本研究ではVHF帯・MF帯）の観測を同時に行うことである。

(2) 着想に至った経緯：申請者はVHF帯での観測を1997年に開始以来、科研費、大学研究費、企業からの受託研究費などにより、図1に示すように、全国13ヶ所にVHF帯観測系を構築し、昼夜連続で観測を行っている。

その間、2001年の芸予地震、2004年の新潟県中越地震において、地震に伴う電磁現象を検出し論文化するなど成果を挙げることができた。しかし、VHF帯のこれまでの観測



図1 VHF帯観測点

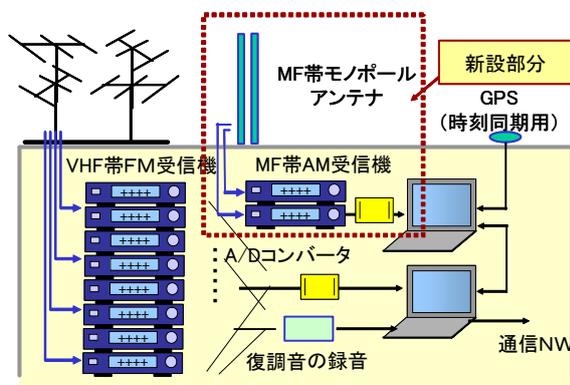


図2 本研究におけるVHF帯・MF帯によるDual Band観測系の構成図

から、地震電磁現象は当初期待したレベルより遥かに微弱な現象であること、電離層の Sporadic-E 層反射、太陽活動に伴うフレアノイズ、ダクト伝搬、などなど地震以外の電磁現象の方がレベルが高く、かつ頻発することを体験した。そこでVHF帯とは電波伝搬特性の異なるMF帯での観測を、VHF帯の観測と同じ場所で同時に観測することで、地震以外の要因に伴う現象を分離・識別し、より高信頼に地震電磁現象を検出できるのではないかと考え本研究に至った。幸い本研究は現在観測中のVHF帯観測系にMF帯観測系を併設するため、新たな観測点確保のための用地交渉、通信線の敷設などを必要とすることなく、低コストかつ迅速に「VHF帯・MF帯によるDual Band観測」を開始することができる。

2. 研究の目的

本申請研究の目的は、VHF帯の観測系に新たにMF帯の観測系を併設し、「VHF帯・MF帯によるDual Band観測」を行い、「地震に伴う電磁現象を科学的に抽出し定量的に検証すること」である。

3. 研究の方法

当研究チームはこれまで全国13ヶ所にVHF帯観測系を構築し、昼夜連続で観測を行ってきたが、本研究ではこの観測系を有効活用し、図2に示すように、新たにMF帯の観測系を併設し、「VHF帯・MF帯によるDual Band観測」を行う。

観測系の構築に当たっては、事前に受信機の校正カーブを取得するとともに、研究室にて連続安定動作確認を行い、各観測点に搬送する。観測点については、人工ノイズが少なく、かつ見通し外でMF帯放送波を受信可能な観測点を選定した。また、観測データの変動要因をチェックするため、高層気象データの観測所近くの観測点を優先的に選定した。

各観測点で得られた受信レベル変動データは、一旦各観測点のパソコンのHDDに記録し、広島市立大学より通信ネットワークを経由して取得できる構成とした。さらに、各観測点にはGPSを設置し、その時刻情報と観測データを同時に記録した。

4. 研究成果

(1) 見通し外FM放送波の伝搬特性と高層気象大気屈折率の関連：

1995年の兵庫県南部地震の際に、見通し外FM放送波77.1MHzに異常伝搬があり、それは地震に伴う電離層擾乱との仮説がなされ、地震との相関が強いとの報告がなされた。これを契機に、その真偽を明らかにするため、見通し外FM放送波と地震との関連についての観測が多くの研究機関で行われるようになった。報告者らも見通し外FM放送波と地震との関連を明らかにするため、1996年から観測を開始した。

二周波法の採用により、観測データに現れる変化がFM放送波を受信したものか、広帯域な電磁波を捉えたものか、それとも人工ノイズの影響なのかの識別を容易にした。また報告者らの観測チームが全国で運用している複数の異なる観測点のデータを同時に比較検討することで、その変化が観測点固有のローカルな現象なのか、それとも全ての観測点に現れるグローバルな現象（例：太陽フレア）なのかの識別を可能にした。特に複数年の観測を継続することで、見通し外FM放送波の受信レベルには、地震とは関連のない要因（例えばダクト伝搬やマルチパスフェーディング）が引き起こすレベル変動があること、またその変動には地表の気温や湿度、風速との関連が強いことがわかってきた。

さらに見通し外FM放送波の伝搬特性と“伝搬経路周辺の高層気象データ”との関連について検証するため、四国の梶が森山頂（標高1,400m）に観測系を設置し、見通し外となる大分、宮崎からのFM放送波の受信レベル変動を3年間連続で観測した。その受信レベル

変動特性を、伝搬経路周辺の4箇所の高層気象データと比較し、その関連を調べた。

図3に観測区間経路および高層気象観測所を示す。梶が森観測所にて観測した大分、宮崎の各放送波の受信レベル変動事例として、2008年5月の1ヶ月間をそれぞれ図4、図5に示す。5月22日、23日には大きな受信レベル変動が観測された。この時刻に対応する大気屈折率を、鹿児島高層気象データより計算で求め図6に示す。高度約1km付近にダクトが形成されていることがわかる。

本研究による成果は次のとおりである。

- ① 観測した大分、宮崎の2区間ともに、見通し外 FM 放送波の受信レベルは地震と

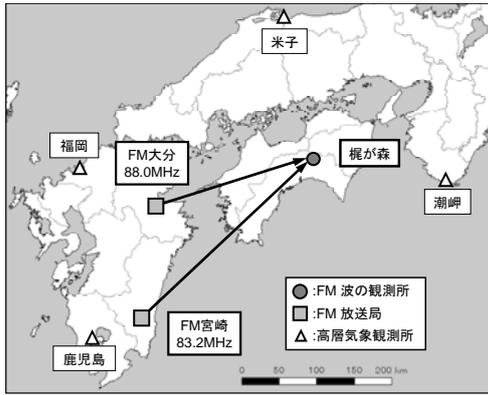


図3 観測区間経路および高層気象観測所

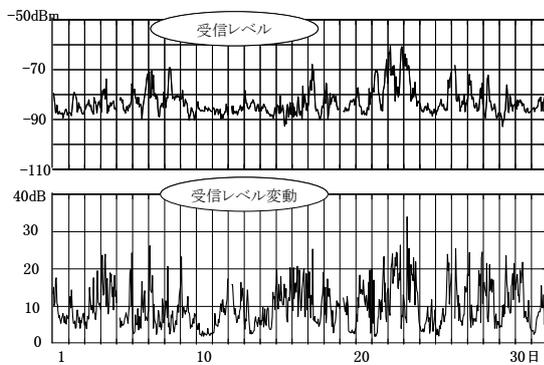


図4 FM大分の受信レベル変動(2008年5月).

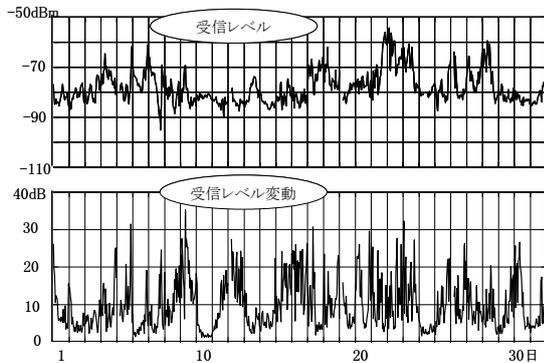


図5 FM宮崎の受信レベル変動(2008年5月).

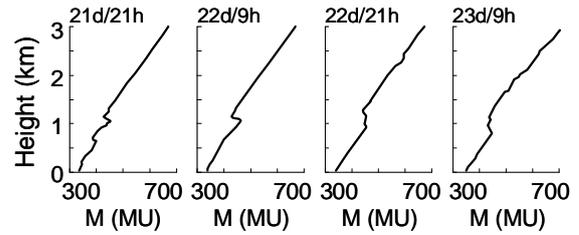


図6 大気屈折率(鹿児島:2008年5月21-23日)

無関係に春から秋にかけ大きく変動した。

- ② その受信レベル変動は、受信レベル 10dB の変化に対して、その累積確率が一桁変化するレイリー分布に従った。
- ③ 見通し外 FM 放送波の受信レベル変動要因を解明するため、観測期間中、比較的大きな受信レベル変動となった、2008年5月の1ヶ月間について、4箇所の高層気象データから大気屈折率を求め、見通し外 FM 放送波の受信レベル変動と比較した。その結果、受信レベル変動は地震とは無関係であり、通常の大気屈折率に関連することを明らかにした。

(2) 見通し外 FM 放送波 77.1MHz の観測結果

今日、見通し外 FM 放送波 77.1MHz の伝搬異常と地震との関連について、多くの報告がなされている。しかし、これまでの報告の多くは一つの観測区間での結果に基づく報告や、観測期間も1年以内の観測データをもとにした報告であり、地震が発生していない期間での検証や、複数区間との比較検討がなされておらず、その伝搬異常が地震によるものか、それとも通常的气象要因による伝搬変動なのか、必ずしも十分な考察に至っていない。

報告者らの研究チームは、複数区間複数年における伝搬特性の把握が変動要因の解明に重要と考え、野辺山、日立、横須賀の3区間にて、2006年から2008年までの3年間、FM仙台放送局(77.1MHz)の見通し外FM放送波の連続観測を行った。

図7に77.1MHz見通し外FM放送波の受信レベルを観測した野辺山、横須賀、日立観測所、およびFM仙台放送局から各観測所への

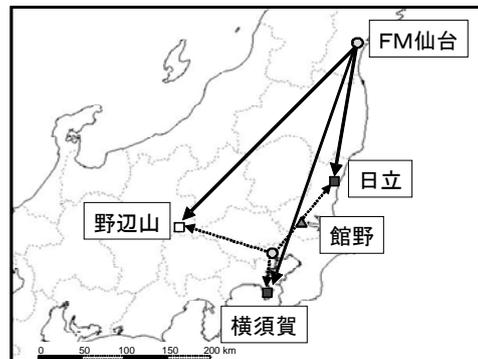


図7 観測区間経路および高層気象観測所

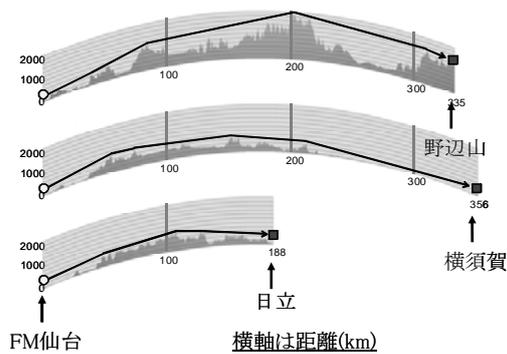


図8 観測区間の伝搬プロフィール



図9 観測系の基本構成図

伝搬経路を示す。また同じ 77.1MHz の放送波を送信する放送大学放送局と、高層気象データの館野観測所の位置関係もあわせて示す。

図8には FM 仙台放送局から各観測所までの3区間の伝搬プロフィールを等価地球半径係数 $K=4/3$ (標準伝搬) として示す。

図9に各観測点に設置した観測システムの基本構成図を示す。受信アンテナには、FM 放送受信用の3素子八木・宇田アンテナを用いた。受信機には雑音指数 2dB の PLL 型 FM 受信機を用いた。本観測システムの時刻は、GPS から得られる時刻をもとに記録した。

野辺山、横須賀および日立観測点において FM 仙台放送波の受信レベル変動を 2006 年から 2008 年までの3年間実測した結果を図10に示す。各観測点ともに、冬季にはその受信

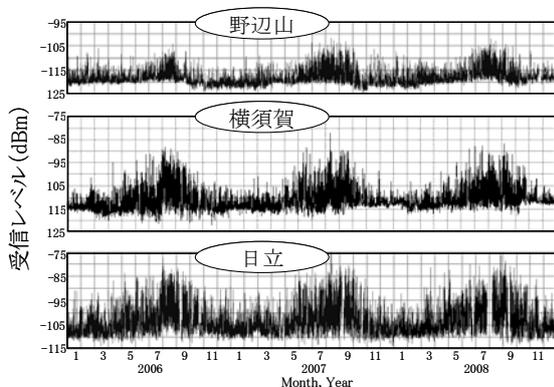


図10 野辺山、横須賀、日立で観測した FM 仙台の受信レベル変動 (2006年から2008年)

レベルは安定する一方で、7月から9月にかけての夏季にはレベル変動が増大する傾向があることがわかった。各観測点における受信レベルは、冬季には野辺山で約120 dBm、横須賀で約115dBm、日立で約110dBm であり、夏季には、野辺山で約 15dB、横須賀で約 25dB、日立で約 25dB のレベル上昇を確認した。本研究による成果は次のとおりである。

- ① 見通し外 FM 放送波 77.1MHz の受信レベル変動は、野辺山、横須賀、日立すべての観測点において、地震に関係なく日常的に観測された。また受信レベル変動幅は季節変動特性を伴った。
- ② その伝搬特性は大気屈折率変化の影響を受け、変動することを確認した。
- ③ 受信レベル変動幅の区間相関係数は、その伝搬損失要因がともに阿武隈高地となる横須賀-日立間において最大となった。また、伝搬経路が異なる野辺山-横須賀間において最小となった。
- ④ これらの結果より、見通し外 FM 放送波 77.1MHz の電波伝搬は、大気屈折率の影響を受けやすい対流圏伝搬が支配的であることを明らかにした。

(3) MF 帯放送波の電波伝搬特性

MF 帯見通し外放送波は、昼夜で電離層の反射位置が異なることから、電離層の状態を把握する有効な観測方法となる。しかし MF 帯は、都市ノイズなど人工ノイズの影響を受けやすい周波数帯である。本研究においては比較的人工ノイズが少ない野呂山および美里に観測系を構築し、TBSを昼夜連続で観測した。図11に観測区間経路図を、図12に2010年の観測結果を示す。

異なる2ヶ所で観測することにより観測データの信頼度を高めた。図12から、受信レベルは、夜間には昼間と比べ約 20dB~30dB 上昇することを確認できた。また受信レベルは日没とともに上昇し、日の出とともに下降することがわかった。電離層のD層の変化に追従し変化することを確認した。

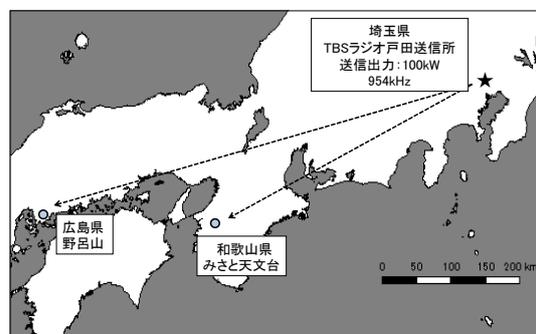


図11 MF 帯観測区間経路図

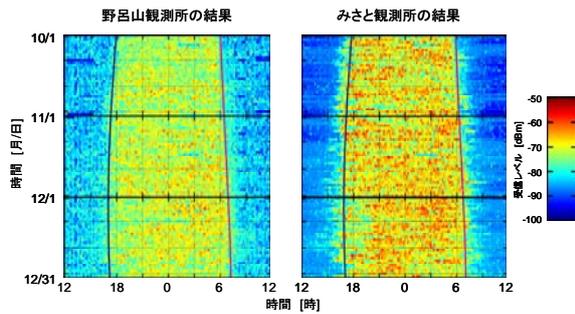


図 12 MF 帯受信レベル変動特性 (2010 年)

(4) 東北地方太平洋沖地震に伴う見通し外伝搬特性への影響の有無

本研究終了間際の 2011 年 3 月 11 日に、観測史上最大規模の東北地方太平洋沖地震が発生した。地震に伴い想像を絶する津波被害、原子力発電事故が発生した。

報告者らの研究チームは震源に近い横須賀観測所にて、仙台から送信されていた見通し外 FM 仙台的放送波 (77.1MHz) を連続して観測した。図 13 に震央および観測経路図を示す。

地震が発生した 3 月の 1 ヶ月について、横須賀にて観測した FM 仙台的放送波 (77.1MHz) の受信レベル変動を図 14 に示す。この図には地震が発生した 2011 年のみならず、地震が発生しなかった 2009 年, 2010 年の 3 月の観測データも合わせて示した。

図 14 から次のようなことが読み取れる。地震が発生した 2011 年 3 月の受信レベル変動は、地震が発生しなかった 2009 年, 2010 年 3 月のレベル変動と大差なく、顕著な地震前兆現象は観測されなかった。

さらに 2011 年 3 月の受信レベル変動を、館野高層気象データより求めた大気屈折率と比較した観測結果を図 15 に示す。3 月は例年気温、湿度ともに低い時期あたり、かつ季節風の影響も残る時期にあたり、夏季に比べ大気屈折率は安定し、電波伝搬特性も一般に安定となる。図 15 の観測結果からも大気屈折率、電波伝搬特性ともに安定しており、地震に伴う現象は見えなかったことがわかる。

観測史上最大の地震発生時に、震源近傍で電波伝搬特性を観測でき、“地震電磁現象の有無について”貴重なデータを得ることができた。1995 年の兵庫県南部地震の際に多くの地震電磁現象があったとの報告から、複数の研究機関において地震電磁現象の観測が盛んになった。報告者らの研究チームも地震電磁現象の観測を主目的として観測を行ってきた。しかし、これまでの観測を通じて、地震電磁現象は極めて微弱であること、観測データには日々変動は観測されるものの、地震以外の要因による変動が支配的であることを痛感してきた。今回の観測史上最大の地震

に際しても、地震前兆など顕著な電磁現象は観測されなかったことを確認した。

電波観測では人工ノイズ、放送波などの人工電波、太陽フレア、雷などの自然電磁現象など、多くの電磁現象に影響される。本研究を通じて、地震電磁現象は極めて微弱な現象であることが確認された。

これからも多くの研究機関で電波による地震電磁現象の観測が行われると思われるが、観測データの変化が地震によるものか、それとも地震以外の要因によるものか、評価識別が不可欠である。

本報告書にも示したように、複数の観測所で観測すること、図 14 に示したように、地震発生年のみならず複数年の同じ月の観測データと比較することが、より科学的な議論の進展に貢献する本道のように思われる。

本研究が科学研究費補助金により遂行できたこと、また各観測所の方々のご支援に心より感謝申し上げます。

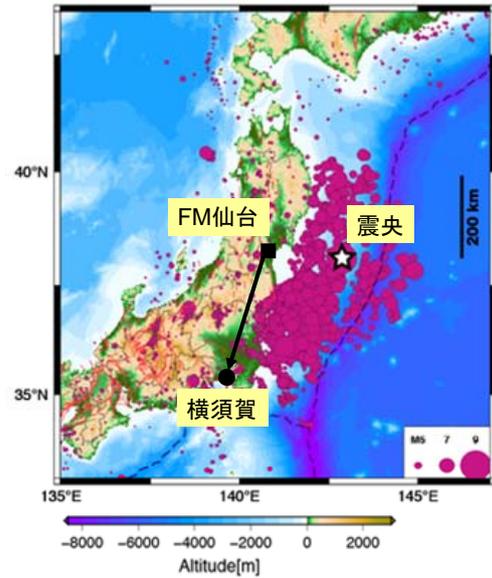


図 13 震央および観測経路図

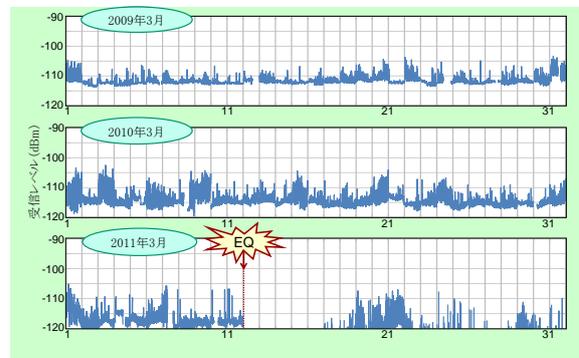


図 14 横須賀で観測した FM 仙台的受信レベル変動 (2009 年, 2010 年, 2011 年の各 3 月)

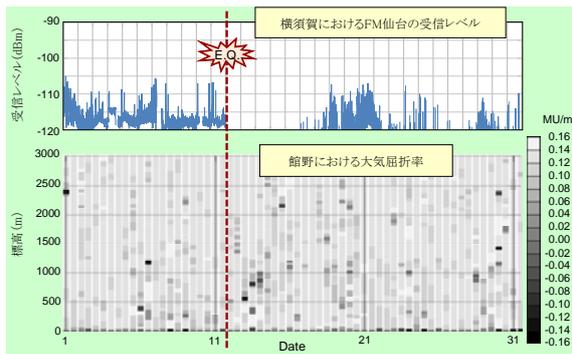


図 15 横須賀における FM 仙台の受信レベル変動と館野における大気屈折率との比較 (2011 年 3 月)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① 西正博, 新原英満, 新浩一, 吉田彰顕, “見通し外 FM 放送波 77.1MHz の 3 年間 3 区間における観測結果”, Journal of Atmospheric Electricity, 査読有, Vol. 31, No. 1, 2011, pp11-22.
- ② 吉田彰顕, 新浩一, 西正博, “見通し外 FM 放送波の伝搬特性と高層気象待機屈折率の関連”, Journal of Atmospheric Electricity, 査読有, Vol. 30, No. 2, 2010, pp83-94.
- ③ 西正博, 新浩一, 吉田彰顕, “UHF 帯テレビ放送波を利用したヒト検知システムにおける時間差判定の適用効果”, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol. J93-B, 2010, pp1239-1248.
- ④ 東峻士, 新浩一, 西正博, 吉田彰顕, “見通し外 FM 放送受信波の季節変動特性”, Journal of Atmospheric Electricity, 査読有, Vol. 29, No. 2, 2009, pp105-113.
- ⑤ 岩見哲也, 西正博, 吉田彰顕, “瀬戸内地域における UHF 帯電波の海上伝搬特性”, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol. J92-B, 2009, pp224-232.

[学会発表] (計 5 件)

- ① T. Yoshida, R. Fujimoto, K. Shin and M. Nishi, “Characteristics of the FM Radio Waves Propagated over the Epicenters”, Proc. of URSI-EMTS, 査読有, 2010 年 8 月 18 日, pp. 437-440, ベルリン
- ② M. Nishi, K. Kodama, K. Shin and T. Yoshida, “Proposal of Human Detection System Using 1-SEG Tuner”, Proc. of WPMC2009, 査読有, 2009 年 9 月 10 日, 5pages, 仙台
- ③ M. Nishi, T. Amano and T. Yoshida,

“Estimation of Effective Earth Radius Factor Based on UHF Band Measurement”, Proc. of ISITA2008, 査読有, 2008, pp. 1520-1525.

- ④ 吉田彰顕, 西正博, 新浩一, “見通し外 FM 放送波の電波伝搬特性と地震との比較検討”, 地震電磁気シンポジウム, 査読無, 2008 年 12 月 25 日, 電気通信大学
- ⑤ 吉田彰顕, 西正博, 新浩一, “見通し外 FM 放送波の電波伝搬特性と地震活動との関連”, 地震電磁気セミナー, 査読無, 2008 年 10 月 13 日, 京都産業大学

[その他]

ホームページ等

<http://www.wave.info.hiroshima-cu.ac.jp/research/arch.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 彰顕 (YOSHIDA TERUAKI)
 広島市立大学・情報科学研究科・教授
 研究者番号: 50316139

(2) 連携研究者

西 正博 (NISHI MASAHIRO)
 広島市立大学・情報科学研究科・准教授
 研究者番号: 30316137

(3) 連携研究者

新 浩一 (SHIN KOICHI)
 広島市立大学・情報科学研究科・助教
 研究者番号: 10509053