

重力波観測による地震検知の可能性の研究（その2）

SSH Principia-II 重力波研究グループ：

落合 康太（高2）、守 毅人（高2）、藤崎 志歩（高2）、佐藤 萌未（高2）

【神奈川県立横須賀高等学校】

要旨 (Abstract) 私たちは昨年度、13億光年先のブラックホールGW150914の重力波観測の成功を機に、地震が発生する重力波を検知できるかの研究を始めた。重力波が伝わる方程式は、深宇宙との遠方解はあるが、地球と人工衛星程度の近傍解の式はない。そこで重力波方程式の土台であるマクスウェル方程式の近距離用の項を重力波に適用し、近似式を生成し、近距離研究文献の数値と照合し合致した。この式を用いて地震による重力波を算出した。

1. 研究の背景
私たちの住む三浦半島の地下には4つの地殻プレートが沈み込み、今後30年以内に直下型地震の発生確率は70%と言われており、地震予知の方策を確立して事前の対処を可能にしたい。
2. 研究目的
地殻変動による地震や予兆は、必ず重力波が発生すると考える。地震重力波を検知することが可能か否かを研究する。
3. 研究経過
この目的で昨年度は重力波の遠方解数式で試算したが、検知は不可能という数値であった。このため近傍解数式を求める必要がある。
4. 研究方法
昨年の日天文学会ジュニアセッションの発表の際のコメントでは重力波の近傍解を求めるためにはシミュレーションが不可欠であると同った。シミュレーションは高校生として扱えないので、アインシュタイン方程式を派生したマクスウェル（電磁波）方程式の遠近解数式が利用できないかを探求する。
5. 研究
重力波は次のアインシュタイン方程式で求まる。これから得られる遠方解を式(1)に示す。他方、マクスウェルの電磁波波動方程式から得られる遠近解を式(2)に示す。式(3)に合成解を示す。

宇宙空間の状態量 <時空の曲率> 宇宙に散らばるエネルギーと質量

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = -\frac{\kappa}{2c^4} T_{\mu\nu}$$

宇宙空間をはかる物差 <計量子ノル> 平らな部分 平らでない部分

ここを解く波動方程式

$$\square \bar{h}_{ij} = -16\pi T_{ij}$$

遠方だけを求める波動方程式

$$\square h_{\mu\nu} = -\frac{16\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

遠方だけを計算できる式の答え

$$h = \frac{4G^2 M_1 M_2}{c^4 R} \frac{1}{r} \quad \text{--- (1)}$$

近距離の重力波を計算できる式が無い！！

Maxwell 波動方程式の遠近解の部分を採用する。

$$h = \frac{4G^2 M_1 M_2}{c^4 R} \left(\frac{1}{r} - j \frac{\lambda}{2\pi r^2} + \frac{\lambda^2}{4\pi^2 r^3} \right) \quad \text{--- (3)}$$

遠方解 中間 近傍解

・式の検証
既存の近傍解の研究例[*1]と照合 (*1 安東, "重力波とはなにか," 講談社, 2016, pp. 68)
上記文献による重力波振幅: $\sim 10^{-42}$
本研究式による重力波振幅: 0.526×10^{-42}

6. 研究結果
この結果から、提案した式は有効であると判断。
・東日本大地震の地殻変動による重力波を試算
地殻変動量を深さ1m、東北4県分の地塊と想定
 $M1 \approx 5.2 \times 10^{13}$ (kg)
地震の対象を深さ30kmまでの東北4県分の地殻と想定 (以上、図1参照)
 $M2 \approx 4.9 \times 10^{18}$ (kg)
重力波の主波長は地震波観測データから
 $\lambda \approx 6 \times 10^8$ (m)
重力波測定システムを周回衛星軌道に置くと
 $r \approx 3 \times 10^7$ (m)
以上の数値を式(3)に当てはめると、
 $h \sim 7.45 \times 10^{-28}$
を得た。これはスパン5000kmとするLISAの感度に相当すると推量し、東日本大震災レベルの地震による重力波は将来、観測が可能になると考えている。

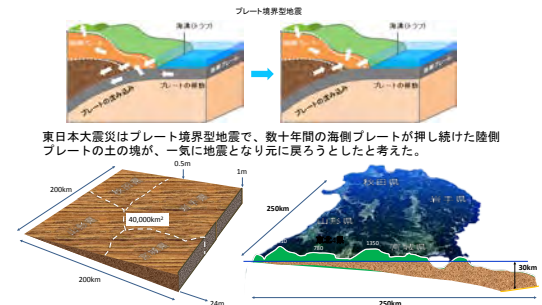


図1 東日本大震災における重力波生成モデル

7. 考察
・電磁波波動方程式の解は、遠方解も近傍解も、波長λがパラメータとして残る。同じ横波の重力波の遠方解にも波長λがパラメータとして存在するならば、数式(3)は修正が必要である。
・提案する式(3)には1/r^3の項がある。今回は文献[*1]の値が、1/r^2の項で得られたが、1/r^3の項によれば更に大きな重力波数値が得られる。文献[*1]には観測位置（距離）が記述なく、本試算では10cmとしたが、確認が必要である。
 8. まとめ/今後の研究
・重力波の近傍解を得るためのシミュレーション環境は高校レベルでは不可能であるため、すでに近傍解が明らかな電磁波方程式を参考に、近傍解の確立を試みた。試算結果ではオーダーで合致した。
・この近傍解の式を用いて地震による重力波の計算を試みた。今後、地殻のスロースリップなどが検知可能かを探りたい。
- 謝辞：本研究の指導を戴いた横須賀テレコムリサーチパークに感謝申し上げます。