

# 題名

マクスウェルの方程式から  
相対論的ニュートンの方程式へ

日本文理大学

機械電気工学科 竹本義夫

# 目的

電磁気学のローレンツ力の

**発生メカニズム**を真似て

1.重力を発生させること

2.運動方程式を作ること

ポテンシャル 電磁場 ローレンツ力

ポテンシャル 重力場 重力(ローレンツ力) 運動方程式

# 必要な道具(電磁気学)

## (後で説明)

(A) 電磁場の空間成分  $\mathbf{E} - ic\mathbf{B}$  (複素 3次元)

に、時間成分  $\underline{E}_t = \frac{\partial\phi}{\partial ct} + c\text{div}\mathbf{A}$  を導入。

電磁場は4元ベクトル。(H3)

(B) 行列(による) 4元ベクトルの表記と積を活用。

$$\begin{pmatrix} ct \\ \mathbf{r} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ct' \\ \mathbf{r}' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ctct' + \mathbf{r} \cdot \mathbf{r}' & \\ & ctr' + rct' - i(\mathbf{r} \times \mathbf{r}') \end{pmatrix}$$

(H3,H18)

スカラー積

ベクトル積

# 新しい結果 (1)

(i) **速度の合成**について

エネルギー

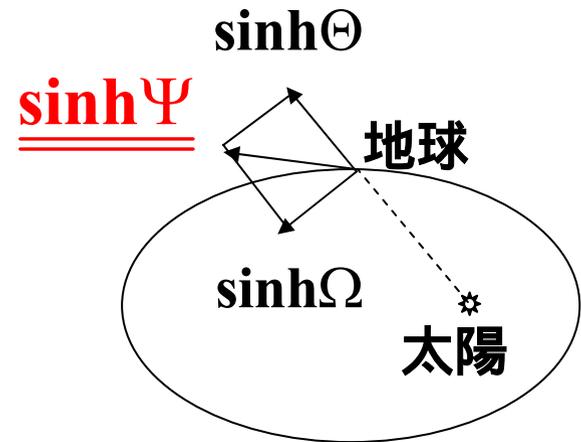
$$\underline{\cosh \Psi} = \cosh \Theta \cosh \Omega$$

合成

$$\begin{pmatrix} \cosh \Psi \\ \underline{\sinh \Psi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cosh \Theta & \\ & \sinh \Theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cosh \Omega \\ \sinh \Omega \end{pmatrix}$$

速度

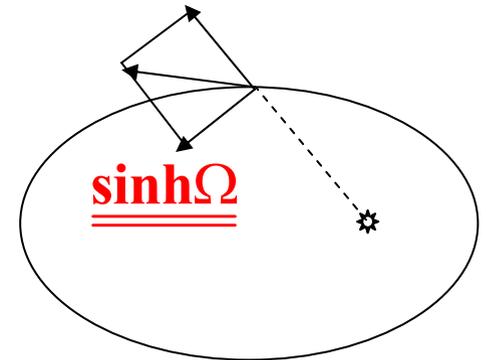
$$\underline{\tanh \Psi} = \tanh \Theta + \tanh \Omega + ir \frac{d\Omega}{d\tau}$$



# 新しい結果 (2)

(ii) メトリックに半径に**直角方向成分**の  
**エネルギー**が関わる

$$dc\tau^2 = \frac{1}{\cosh^2 \Omega} (dc t^2 - dr^2)$$



(**予想**)既存の結果を**相対論的**運動方程式より

(iii) 水星の近日点移動(**計算途中**)

(iv) 光の重力による湾曲性(**計算途中**)

# 資料(予稿集)

<http://www.nbu.ac.jp/~takemoto/genko.html>

この話に興味のあるの方  
**連絡**をください。

e-mail:[takemoto@nbu.ac.jp](mailto:takemoto@nbu.ac.jp)

# (I)このアプローチに必要な道具(再)

(A)電磁場の空間成分  $\mathbf{E} - ic\mathbf{B}$  (複素 3次元)

に、時間成分  $\underline{E_t} = \frac{\partial\phi}{\partial ct} + c\text{div}\mathbf{A}$  を導入。

電磁場は4元ベクトル。(H3)

(B) 行列(による) 4元ベクトルの表記と積を活用。

$$\begin{pmatrix} ct \\ \mathbf{r} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ct' \\ \mathbf{r}' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ctct' + \mathbf{r} \cdot \mathbf{r}' & \\ & ctr' + rct' - i(\mathbf{r} \times \mathbf{r}') \end{pmatrix}$$

(H3,H18)

スカラー積

ベクトル積

# (A)時間成分 $\underline{E_t} = \frac{\partial \phi}{\partial ct} + c \operatorname{div} \mathbf{A}$ の導入 1

(i) マクスウェル方程式の未知数(自由度)が増える。

(ローレンツゲージ) (H8, H18)

$$\underline{E_t} = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \frac{\partial \phi}{\partial ct} + \operatorname{div} c \mathbf{A} = 0$$

(クーロンゲージ)

$$\underline{E_t} = \frac{\partial \phi}{\partial ct} \quad \Leftrightarrow \quad \operatorname{div} c \mathbf{A} = 0$$

は別の解(電磁場)であり ゲージ変換ではない。

純粋なゲージ変換は「 $\phi' = \phi + \frac{\partial \chi}{\partial ct} + \operatorname{div} c \chi$ 」である。

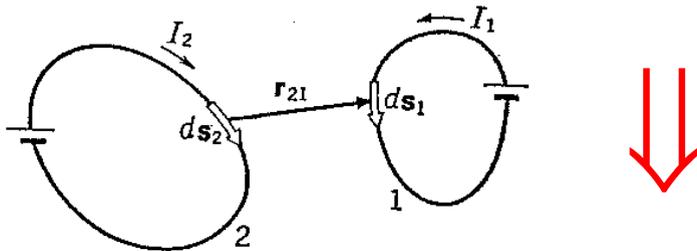
$$c \mathbf{A}' = c \mathbf{A} - \frac{\partial c \chi}{\partial ct} - \operatorname{grad} \chi + \operatorname{rot} c \chi$$

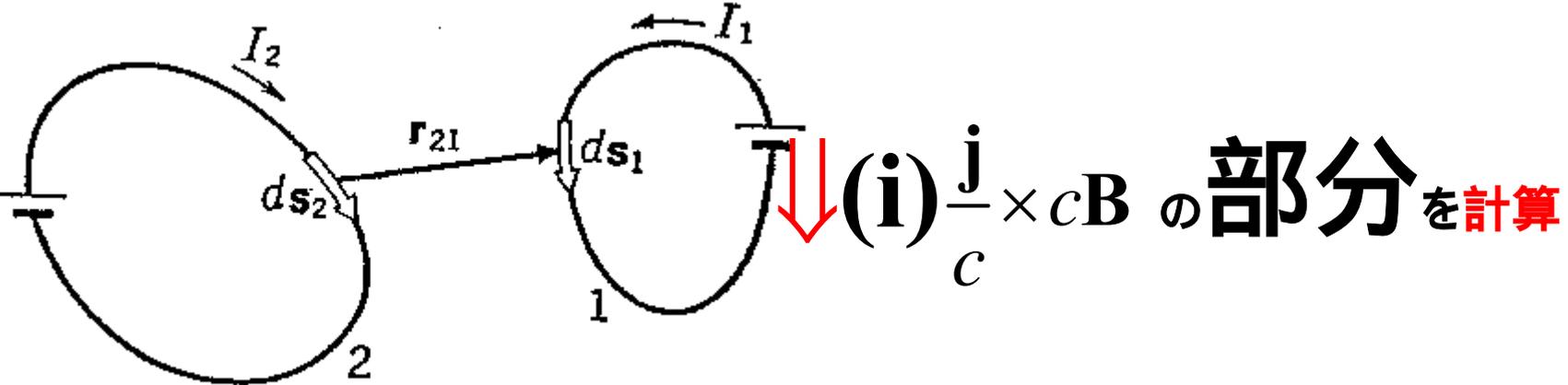
# (A)時間成分 $\underline{E}_t = \frac{\partial \phi}{\partial ct} + c \text{div} \mathbf{A}$ の導入 2

(ii) ローレンツ力に關与する。・・行列の積による。

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + \frac{\mathbf{j}}{c} \underline{E}_t + \frac{\mathbf{j}}{c} \times c\mathbf{B}$$

これにより電流素片 ( $q=0$ , back building) の間に **作用反作用の法則** が成り立つ (古典論)。





(右:  $I_1 ds_1$  上の力)

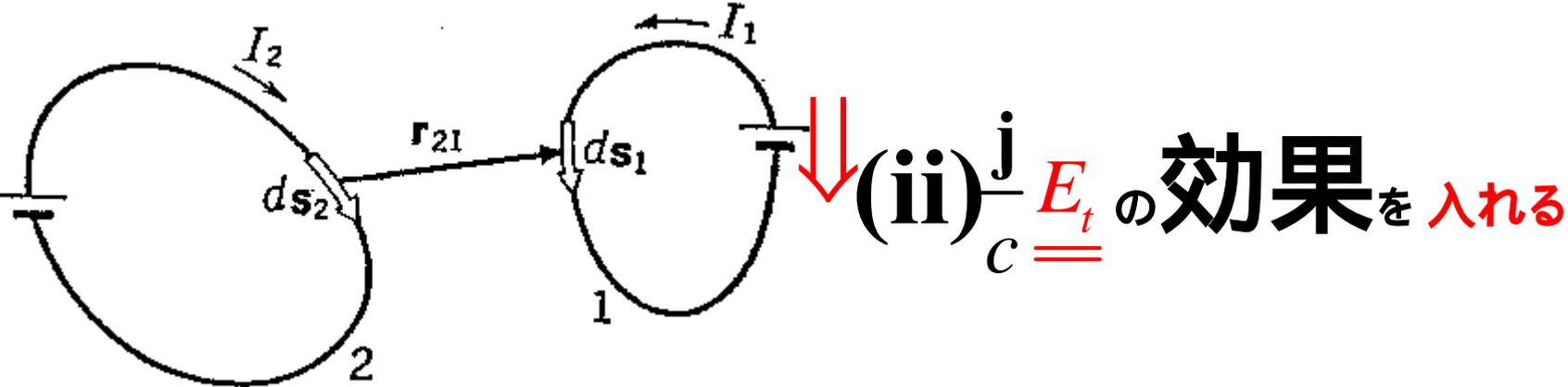
$$d\mathbf{f}_{2 \rightarrow 1} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{(\mathbf{I}_1 ds_1 \cdot \mathbf{I}_2 ds_2) \mathbf{r}}{r^3} + \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{(\mathbf{I}_1 ds_1 \cdot \mathbf{r}) \mathbf{I}_2 ds_2}{r^3}$$

と(左:  $I_2 ds_2$  上の力)

$$d\mathbf{f}_{1 \rightarrow 2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{(\mathbf{I}_2 ds_2 \cdot \mathbf{I}_1 ds_1) \mathbf{r}}{r^3} - \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{(\mathbf{I}_2 ds_2 \cdot \mathbf{r}) \mathbf{I}_1 ds_1}{r^3}$$

**は逆方向にならない。**





(右:  $I_1 ds_1$  上の力)

$$d\mathbf{f}_{2 \rightarrow 1} = // + \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{(\mathbf{I}_2 ds_2 \cdot \mathbf{r}) I_1 ds_1}{r^3} + \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{(\mathbf{I}_1 ds_1 \cdot \mathbf{r}) I_2 ds_2}{r^3}$$

(左:  $I_2 ds_2$  上の力)

$$d\mathbf{f}_{1 \rightarrow 2} = // - \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{(\mathbf{I}_1 ds_1 \cdot \mathbf{r}) I_2 ds_2}{r^3} - \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{(\mathbf{I}_2 ds_2 \cdot \mathbf{r}) I_1 ds_1}{r^3}$$

は方向が反対になる。 ∴ 作用反作用の法則 (H5)

# (I)このアプローチに必要な道具 (再々)

(A)電磁場の空間成分  $\mathbf{E} - ic\mathbf{B}$  (複素 3次元)

に、時間成分  $E_t = \frac{\partial\phi}{\partial ct} + c\text{div}\mathbf{A}$  を導入。

電磁場は4元ベクトル。(H3)

(B) 行列(による) 4元ベクトルの表記と積を活用。

$$\begin{pmatrix} ct \\ \mathbf{r} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ct' \\ \mathbf{r}' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ctct' + \mathbf{r} \cdot \mathbf{r}' & \\ & ctr' + rct' - i(\mathbf{r} \times \mathbf{r}') \end{pmatrix}$$

(H3,H18)

スカラー積

ベクトル積

# (B)行列(による)ベクトル表記と積の活用 1

(i) 行列 (による) 4元ベクトル表記 (行列への埋め込み)。

4元ベクトル

行列ベクトル

$$\left( \begin{array}{c|c} ct & \\ \hline \mathbf{r} & \end{array} \right) = \begin{pmatrix} ct \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix} \Rightarrow \underline{\underline{\left( \begin{array}{c|c} ct & \\ \hline \mathbf{r} & \end{array} \right)}} = \begin{pmatrix} ct & & & \\ & (x & y & z) & \\ & & & \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ct+x & y+iz \\ y-iz & ct-x \end{pmatrix}$$

# (B)行列(による)ベクトル表記と積の活用 2

(ii) 行列の積 (スカラー積・ベクトル積の上位に立つ)・・・相互作用をすべて含む。

$$\begin{aligned}
 \begin{pmatrix} ct \\ \mathbf{r} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ct' \\ \mathbf{r}' \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} ct + x & y + iz \\ y - iz & ct - x \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ct' + x' & y' + iz' \\ y' - iz' & ct' - x' \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} ctct' + \mathbf{r} \cdot \mathbf{r}' & \\ & ctr' + rct' - i(\mathbf{r} \times \mathbf{r}') \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

スカラー積
ベクトル積

# ( ) 電磁気学(行列)

(A) ポテンシャルの微分。(H3,H18)

電磁場の発生

(B) マクスウェル方程式・ $\underline{E}_t$ を含む。(H3,H18)

(C) クーロン・ローレンツ力・ $\underline{E}_t$ を含む。(H5,H18)

以上は全て、ローレンツ変換不変である。

# (A)ポテンシャルの微分

(ii) 電磁場 = **ポテンシャルの微分** ( $\underline{E}_t$  : 時間成分) H3,H18

$$\begin{pmatrix} \underline{E}_t \\ \mathbf{E} - ic\mathbf{B} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial ct} \\ -\frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \phi \\ -c\mathbf{A} \end{pmatrix}$$

ローレンツ変換

$$\left\{ \begin{array}{l} \underline{E}_t = \frac{\partial \phi}{\partial ct} + \text{div} c\mathbf{A} \quad (\text{電場の時間成分、スカラー}) \dots (1) \\ \mathbf{E} = -\frac{\partial c\mathbf{A}}{\partial ct} - \text{grad} \phi \quad (\text{電場、ベクトル}) \dots (2) \\ c\mathbf{B} = \text{rot} c\mathbf{A} \quad (\text{磁場、ベクトル}) \dots (3) \end{array} \right.$$

新規成分

# (B) マクスウェルの方程式

(i) **電磁場の微分** = 電流 ( $E_t$ : 時間成分) H3, H18

$$\underbrace{\begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial ct} \\ \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \underline{E_t} \\ \mathbf{E} - ic\mathbf{B} \end{pmatrix}}_{\text{ローレンツ変換}} = \begin{pmatrix} \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ -\frac{\mathbf{j}}{\epsilon_0 c} \end{pmatrix}$$

ローレンツ変換

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{rot} \mathbf{E} + \frac{\partial c\mathbf{B}}{\partial ct} = \mathbf{0} \quad \text{(ファラデーの式、ベクトル) \dots (1)} \\ \mathit{div} c\mathbf{B} = 0 \quad \text{(磁束保存の式、スカラー) \dots (2)} \\ \mathit{div} \mathbf{E} + \frac{\partial \underline{E_t}}{\partial ct} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad \text{(ガウスの式、スカラー) \dots (3)} \\ \mathbf{rot} c\mathbf{B} - \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial ct} - \mathbf{grad} \underline{E_t} = \frac{\mathbf{j}}{\epsilon_0 c} \quad \text{(アンペールの式、ベクトル) \dots (4)} \end{array} \right.$$

# (C)クーロン・ローレンツ力

(iii) ローレンツ力 = 電磁場 × 電流 ( $\underline{E}_t$ : 時間成分) H5, H18

$$\begin{pmatrix} F_t \\ \mathbf{F} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{\underline{E_t}} \\ \mathbf{E} - ic\mathbf{B} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} q \\ \frac{\mathbf{j}}{c} \end{pmatrix}$$

ローレンツ変換

$$\begin{cases} F_t = q \underline{\underline{E_t}} + \frac{\mathbf{j}}{c} \cdot \mathbf{E} - i \frac{\mathbf{j}}{c} \cdot c\mathbf{B} & \text{(エネルギーの変化、スカラー) \dots\dots} \\ \mathbf{F} = q\mathbf{E} + \frac{\mathbf{j}}{c} \underline{\underline{E_t}} + \frac{\mathbf{j}}{c} \times c\mathbf{B} - i \underline{\underline{(qc\mathbf{B} - \frac{\mathbf{j}}{c} \times \mathbf{E})}} & \text{(運動量の変化、ベクトル) \dots\dots\dots} \end{cases}$$

下線部 : 複素力??

↑  
ローレンツ力(重力もこの形の力が発生)

# ( ) 重力方程式(本題)

(A) 重力と電磁力(類似性) H20

ポテンシャルの類似と力の類似

(B) 重力方程式・電磁力の構成を模倣する。  
H9,H20 ・途中のメカニズムも同じ?

ポテンシャル      重力場(模倣)      力

(C) 重力方程式(解釈)

検証する      ((入り口・出口が似ている))

# (A)重力と電磁力(類似性) 1

(i) **ポテンシャル**の類似。(入り口)

(電磁力)静止状態の電荷  $e$  のとき、ポテンシャルは

$$\phi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e}{r}, \quad \mathbf{A} = \mathbf{0}$$

(重力)静止状態の質量  $M$  のとき、重力ポテンシャルは

$$U = -\frac{G}{c^2} \frac{M}{r}$$

# (A)重力と電磁力(類似性) 2

(ii) **クーロン力と重力の類似**。(出口)

(電磁力) **運動している電荷**  $q_0 \left( \frac{u_t}{c}, \frac{\mathbf{u}}{c} \right)$  が受ける力は

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} = -\frac{q_0}{4\pi\epsilon_0} \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \left( \frac{e}{r} \right) \frac{u_t}{c}$$

(重力) **静止状態の質量 M** のとき、重力は

$$\mathbf{f} = -m_0 \frac{\partial U}{\partial \mathbf{r}} = \frac{Gm_0}{c^2} \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \left( \frac{M}{r} \right) \left( \times \frac{u_t}{c} \right)$$

運動しているとき

((似ている!!))

# ( ) 重力方程式(再)

(A) 重力と電磁力(類似性) H20

ポテンシャルの類似と力の類似

(B) 重力方程式・電磁力の構成を模倣する。

H9,H20・途中のメカニズムも同じ?

ポテンシャル 重力場(模倣) 力

(C) 重力方程式(解釈)

検証する ((入り口・出口が似ている))

# (B)重力方程式(構成) 1

(i)重力場 = **ポテンシャルの微分** ( $\underline{E}_t, \underline{g}_t$ :時間成分)

(電磁場)

$$\begin{pmatrix} \underline{E}_t (=0) \\ \mathbf{E} - ic\mathbf{B}(=0) \end{pmatrix}^+ = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0} \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial ct} \\ -\frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \end{pmatrix}^- \begin{pmatrix} \frac{e}{r} \\ 0 \end{pmatrix}^+$$

(重力場)H9,H20

$$\begin{pmatrix} \underline{g}_{Et} (=0) \\ \underline{g}_E - icg_B (=0) \end{pmatrix}^+ = -\frac{G}{c^2} \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial ct} \\ -\frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \end{pmatrix}^- \begin{pmatrix} \frac{M}{r} \\ 0 \end{pmatrix}^+$$

通常はこの部分だけ

ポテンシャル

# (B)重力方程式(構成) 2

ii) 重力(ローレンツ力) = 重力場 × 質量 ( $\underline{E}_t$ ,  $\underline{g}_t$ : 時間成分)  
 (電磁力)

$$\begin{pmatrix} F_t \\ \mathbf{F} \end{pmatrix}^- = \begin{pmatrix} \underline{E}_t (= 0) \\ \mathbf{E} - ic\mathbf{B} (= \mathbf{0}) \end{pmatrix}^+ \begin{pmatrix} q_0 \frac{u_t}{c} \\ q_0 \frac{\mathbf{u}}{c} \end{pmatrix}^-$$

(重力) H9, H20... ローレンツ変換で不変(相対論的)

$$\begin{pmatrix} f_t \\ \mathbf{f} \end{pmatrix}^- = \begin{pmatrix} \underline{g}_{Et} (= 0) \\ \underline{g}_E - icg_B (= \mathbf{0}) \end{pmatrix}^+ \begin{pmatrix} m_0 \frac{u_t}{c} \\ m_0 \frac{\mathbf{u}}{c} \end{pmatrix}^-$$

通常はこの部分だけ

# (B)重力方程式(構成) 3

(iii) 重力 = **ポテンシャル** の微分 × 質量 ( $\mathbf{g}_t$ : 時間成分)  
 (重力) H9, H20

$$\begin{aligned}
 \begin{pmatrix} f_t \\ \mathbf{f} \end{pmatrix}^- &= \begin{pmatrix} \underline{g_{Et}} (= 0) \\ \mathbf{g_E} - ic\mathbf{g_B} (= \mathbf{0}) \end{pmatrix}^+ \begin{pmatrix} m_0 \frac{u_t}{c} \\ m_0 \frac{\mathbf{u}}{c} \end{pmatrix}^- \\
 &= -\frac{G}{c^2} \left[ \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial ct} \\ -\frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \end{pmatrix}^- \begin{pmatrix} \frac{M}{r} \\ \mathbf{0} \end{pmatrix}^+ \right] \begin{pmatrix} m_0 \frac{u_t}{c} \\ m_0 \frac{\mathbf{u}}{c} \end{pmatrix}^-
 \end{aligned}$$

# (B)重力方程式(構成) 4

(iii) ポテンシャル ( **重力場** ) 重力の発生

(重力)

$$\begin{aligned}
 \begin{pmatrix} f_t \\ \mathbf{f} \end{pmatrix} &= -\frac{G}{c^2} \left[ \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial ct} \\ -\frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{M}{r} \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} \right] \begin{pmatrix} m_0 \frac{u_t}{c} \\ m_0 \frac{\mathbf{u}}{c} \end{pmatrix} \\
 &= -\frac{G}{c^2} \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \left( \frac{M}{r} \right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} m_0 \frac{u_t}{c} \\ m_0 \frac{\mathbf{u}}{c} \end{pmatrix} \\
 &= -\frac{G}{c^2} \begin{pmatrix} -\frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \left( \frac{M}{r} \right) \cdot m_0 \frac{u_t}{c} \\ -\frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \left( \frac{M}{r} \right) m_0 \frac{u_t}{c} + i \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \left( \frac{M}{r} \right) \times m_0 \frac{\mathbf{u}}{c} \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

# (B)重力方程式(構成) 4

## (iv) 重力と重力方程式(成分表示) H9,H20

**重力**

$$\left\{ \begin{array}{l} f_t = \frac{Gm_0}{c^3} \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \left( \frac{M}{r} \right) \cdot \mathbf{u} \quad (\text{エネルギーの変化}) \dots (1) \\ \mathbf{f} = \frac{Gm_0}{c^3} \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \left( \frac{M}{r} \right) u_t - \underline{\underline{i \frac{Gm_0}{c^3} \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \left( \frac{M}{r} \right) \times \mathbf{u}}} \quad (\text{運動量の変化}) \dots (2) \end{array} \right.$$

## 重力方程式)

下線部 : 複素力??

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2 ct}{d\tau^2} = \frac{Gm_0}{c^3} \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \left( \frac{M}{r} \right) \cdot \mathbf{u} \dots (1) \\ \frac{d^2 \mathbf{r}}{d\tau^2} = \frac{Gm_0}{c^3} \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \left( \frac{M}{r} \right) u_t - \underline{\underline{i \frac{Gm_0}{c^3} \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \left( \frac{M}{r} \right) \times \mathbf{u}}} \dots (2) \end{array} \right.$$

# ( ) 重力方程式(再々)

(A) 重力と電磁力(類似性) H20

ポテンシャルの類似と力の類似

(B) 重力方程式・電磁力の構成を模倣する。

H9,H20 ・途中のメカニズムも同じ?

ポテンシャル 重力場(模倣) 力

(C) 重力方程式(解釈)

検証する

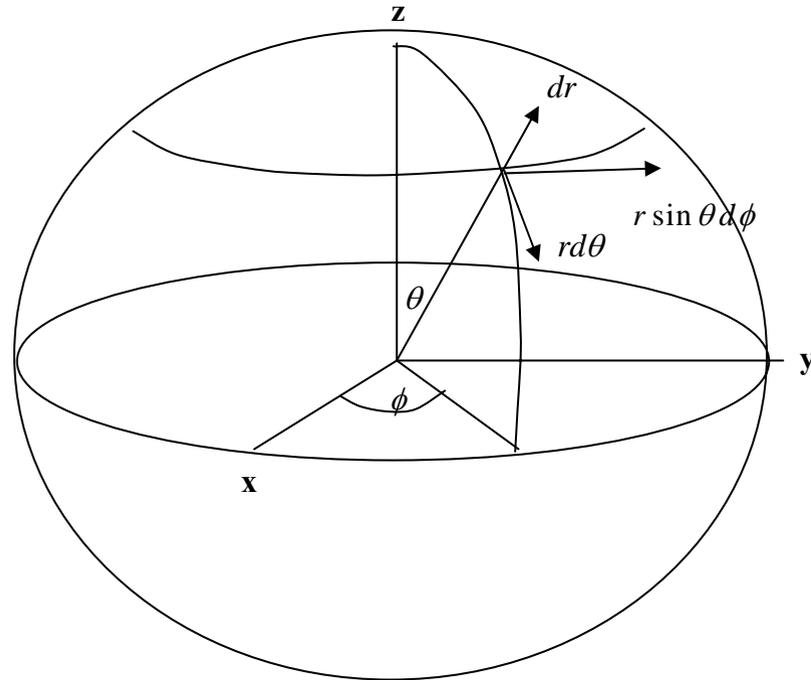
((似ている))

# (C)重力方程式(解釈) 1

(i)球面座標系

(座標変換)

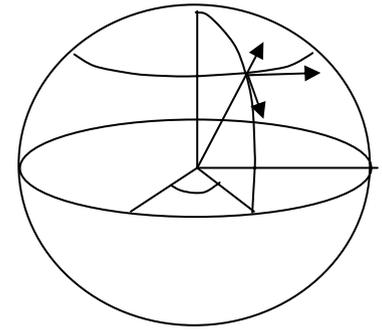
$$\begin{cases} x = r \sin \theta \cos \phi \\ y = r \sin \theta \sin \phi \\ z = r \cos \theta \end{cases}$$



# (C)重力方程式(解釈) 2

## (ii)球面座標系

(重力方程式) H9,H20



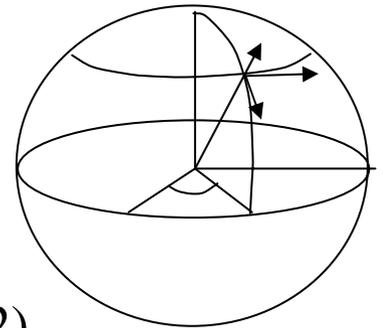
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2 ct}{d\tau^2} = -\frac{M_G}{r^2} \frac{dr}{d\tau} \frac{dct}{d\tau} \dots (1)_{ct} \\ \frac{d^2 r}{d\tau^2} = -\frac{M_G}{r^2} \left(\frac{dct}{d\tau}\right)^2 + \frac{1}{r^3} \left\{ \left(r^2 \frac{d\theta}{d\tau}\right)^2 + \frac{1}{r} \left(r^2 \sin \theta \frac{d\phi}{d\tau}\right)^2 \right\} \dots (2)_r \\ \frac{d}{d\tau} \left( r^2 \frac{d\theta}{d\tau} \right) = - \left\{ i \frac{M_G}{r^2} \frac{dct}{d\tau} - \cos \theta \frac{d\phi}{d\tau} \right\} \left( r^2 \sin \theta \frac{d\phi}{d\tau} \right) \dots i(3)_\theta \\ \frac{d}{d\tau} \left( r^2 \sin \theta \frac{d\phi}{d\tau} \right) = \left\{ i \frac{M_G}{r^2} \frac{dct}{d\tau} - \cos \theta \frac{d\phi}{d\tau} \right\} \left( r^2 \frac{d\theta}{d\tau} \right) \dots i(4)_\phi \end{array} \right.$$

# (C)重力方程式(解釈) 3

(iii) **赤道**上に限定する。 ( $\theta = \frac{\pi}{2} - i\Omega$ : 赤道上,  $\Omega$ : 虚角)

(**重力方程式**) H9, H20

運動状態を表す。



$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2 ct}{d\tau^2} = -\frac{M_G}{r^2} \frac{dr}{d\tau} \frac{dct}{d\tau} \dots (1) \end{array} \right.$$

$$\frac{d^2 r}{d\tau^2} = -\frac{M_G}{r^2} \left(\frac{dct}{d\tau}\right)^2 + \frac{1}{r^3} \left\{ \left(r^2 \cosh \Omega \frac{d\phi}{d\tau}\right)^2 - \left(r^2 \frac{d\Omega}{d\tau}\right)^2 \right\} \dots (2)$$

$$\frac{d}{d\tau} \left( r^2 \frac{d\Omega}{d\tau} \right) = \left( \frac{M_G}{r^2} \frac{dct}{d\tau} - \sinh \Omega \frac{d\phi}{d\tau} \right) \left( r^2 \cosh \Omega \frac{d\phi}{d\tau} \right) \dots (3)$$

$$\frac{d}{d\tau} \left( r^2 \cosh \Omega \frac{d\phi}{d\tau} \right) = \left( \frac{M_G}{r^2} \frac{dct}{d\tau} - \sinh \Omega \frac{d\phi}{d\tau} \right) \left( r^2 \frac{d\Omega}{d\tau} \right) \dots (4)$$

# (C)重力方程式(解釈) 4

## (新しい結果)

(i) **速度の合成**について

エネルギー

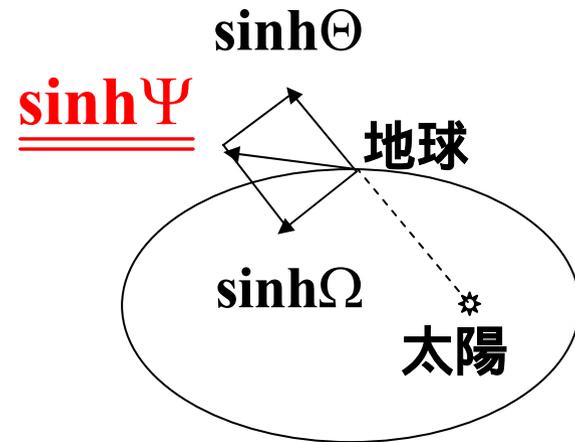
$$\underline{\cosh \Psi} = \cosh \Theta \cosh \Omega$$

合成

$$\begin{pmatrix} \cosh \Psi \\ \underline{\sinh \Psi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cosh \Theta & \\ & \sinh \Theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cosh \Omega \\ \sinh \Omega \end{pmatrix}$$

速度

$$\underline{\tanh \Psi} = \tanh \Theta + \tanh \Omega - ir \frac{d\Omega}{d\tau}$$

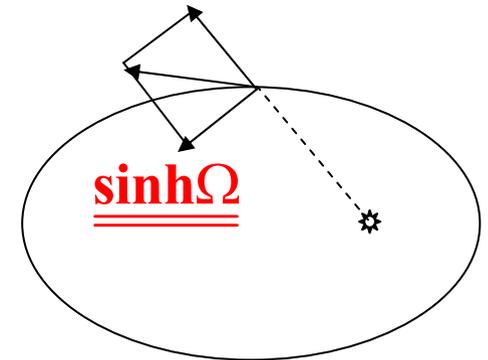


# (C)重力方程式(解釈) 5

## (新しい結果)

(ii) 半径に**直角方向成分**の**エネルギー**メトリックに反映。

$$dc\tau^2 = \frac{1}{\cosh^2 \Omega} (dc t^2 - dr^2)$$



既存の結果を**相対論的**運動方程式より

(iii) 水星の近日点移動(**計算途中**)

(iv) 光の重力による湾曲性(**計算途中**)

この話に興味がある方の  
**連絡**を待っています。

<http://www.nbu.ac.jp/~takemoto/genko.html>

e-mail:[takemoto@nbu.ac.jp](mailto:takemoto@nbu.ac.jp)