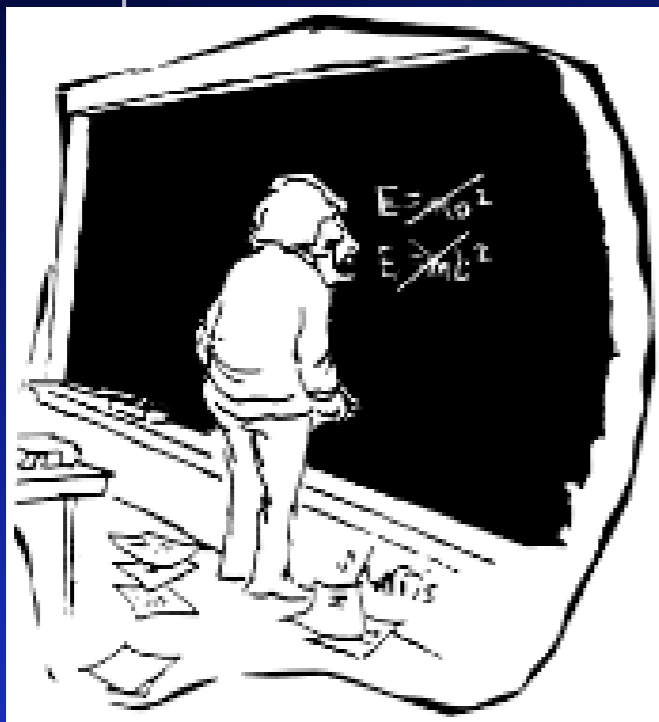


相対論研究のテーマ探し 何が常識・非常識？



真貝寿明 (大阪工業大)

<http://www.is.oit.ac.jp/~shinkai/>

2009/7/29 天文天体物理若手 夏の学校

テーマ0

『誉れ高き「非常識」』というテーマで、夏の学校が企画されたようだが、何故私が招待されたのか

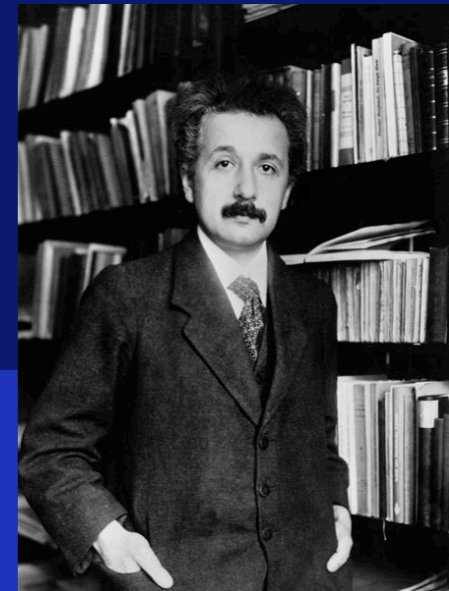
- ▶ 非常識な人生を送ってきたから.
- ▶ 研究したテーマが非常識だった.
 - ▶ 一般相対論だった.
 - ▶ 宇宙論だった.
 - ▶ インフレーション宇宙論, 重力波, ブラックホール, 中性子星, ボゾン星, ワームホール, Ashtekar形式, PostNewton, 数値相対論定式化問題, ブレイン宇宙, Brans-Dicke, Gauss-Bonnet, 高次元時空, ...
- ▶ ワームホールの論文を書いたのに就職できた.

一般相対論の研究テーマ探し

そんな方法論があったら、私が知りたい。

答えがあるなら、誰にも教えず、
せっせと論文を書く。

一般相対性理論



重力場の方程式 (1916)

空間の曲がり方がモノの運動を決める \Leftrightarrow モノがあると空間が曲がる

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

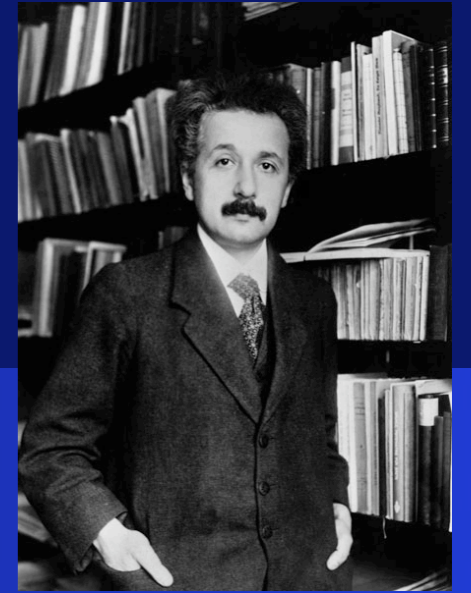
アインシュタイン曲率テンソル
〈空間の歪み〉

エネルギー-運動量テンソル
〈モノの分布〉

$$\begin{aligned}\Gamma_{\mu\nu}^{\alpha} &\equiv \frac{1}{2}g^{\alpha\beta}(\partial_{\nu}g_{\beta\mu} + \partial_{\mu}g_{\beta\nu} - \partial_{\beta}g_{\mu\nu}) \\ R^{\mu}_{\nu\alpha\beta} &\equiv \partial_{\alpha}\Gamma_{\nu\beta}^{\mu} - \partial_{\beta}\Gamma_{\nu\alpha}^{\mu} + \Gamma_{\sigma\alpha}^{\mu}\Gamma_{\nu\beta}^{\sigma} - \Gamma_{\sigma\beta}^{\mu}\Gamma_{\nu\alpha}^{\sigma} \\ R_{ab} \equiv R^{\mu}_{a\mu b} &\equiv \partial_{\mu}\Gamma_{ab}^{\mu} - \partial_b\Gamma_{a\mu}^{\mu} + \Gamma_{\nu\mu}^{\mu}\Gamma_{ab}^{\nu} - \Gamma_{\nu b}^{\mu}\Gamma_{a\mu}^{\nu} \\ R &= g^{ab}R_{ab}\end{aligned}$$

$$T_{\mu\nu} = (\rho + p)u_{\mu}u_{\nu} + pg_{\mu\nu}$$

一般相対性理論



重力場の方程式 (1916)

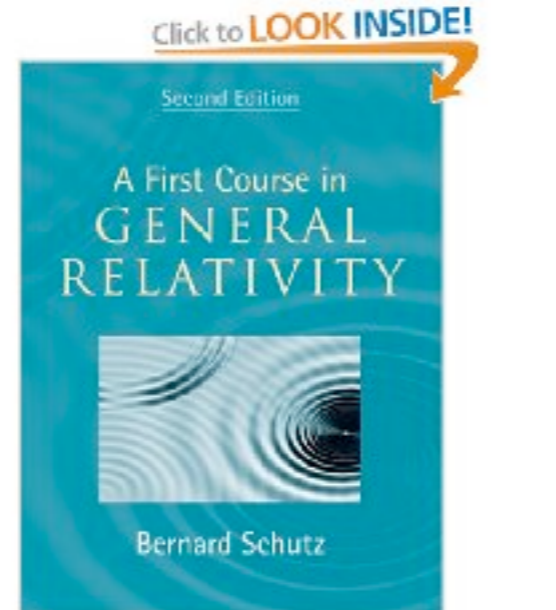
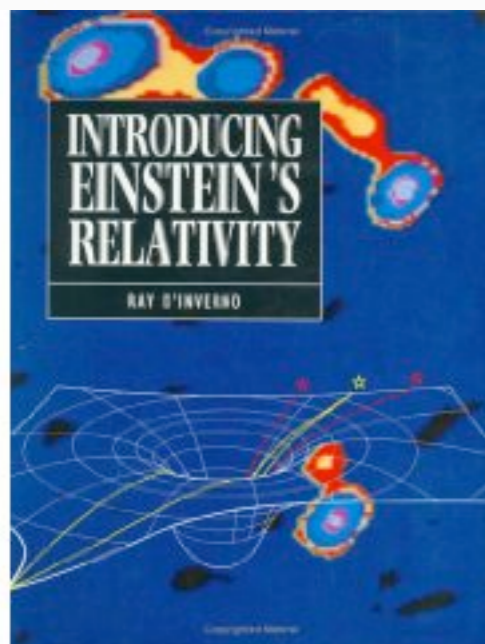
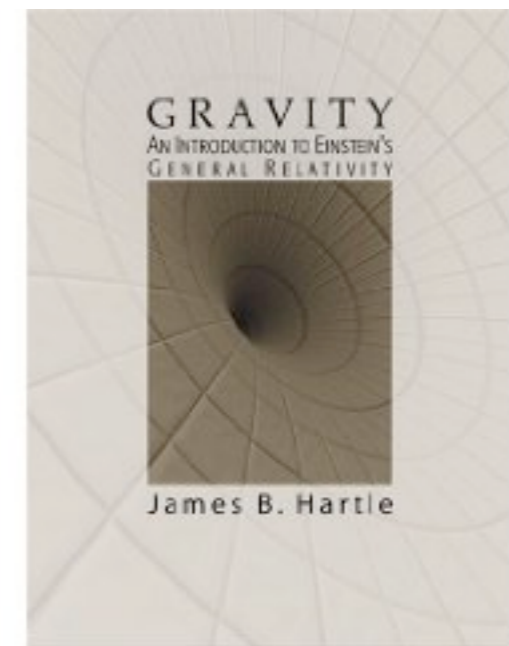
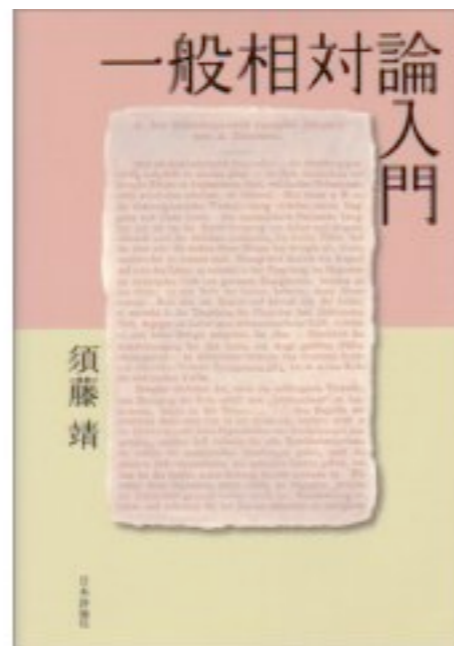
空間の曲がりかたがモノの運動を決める \Leftrightarrow モノがあると空間が曲がる

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

\Rightarrow 定常的な宇宙モデルをつくるために、方程式を修正 (1917)
(宇宙項, cosmological constant)

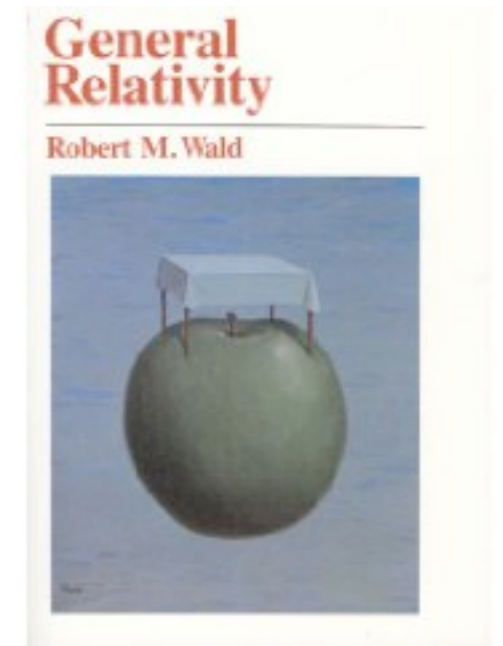
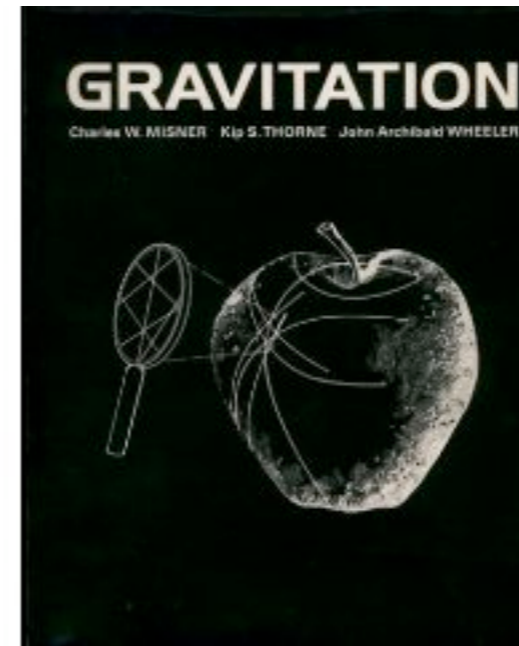
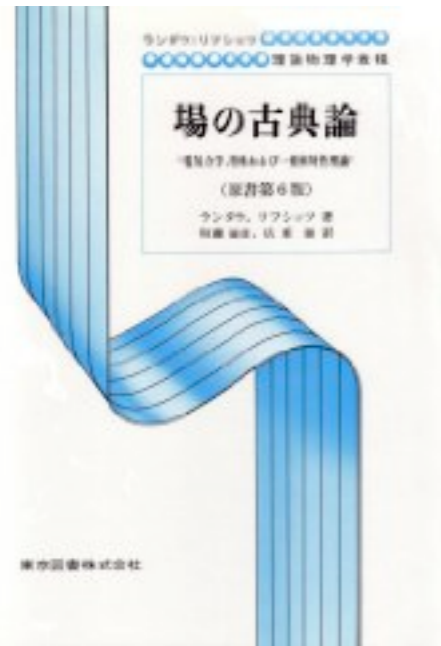
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

相対論の教科書（入門書レベル）



- ★ 弱い重力場での検証
- ★ ブラックホール
- ★ コンパクト星
- ★ 重力波
- ★ 宇宙論

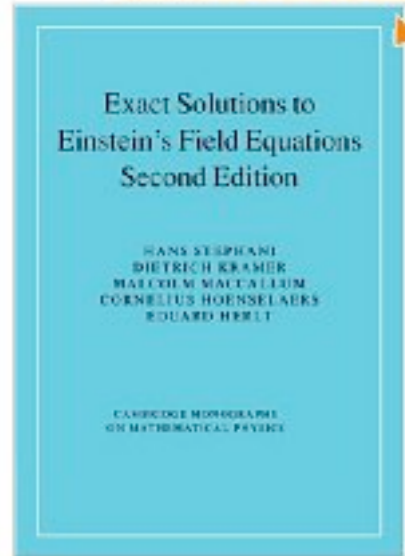
相対論の教科書（本格的に学ぶ）



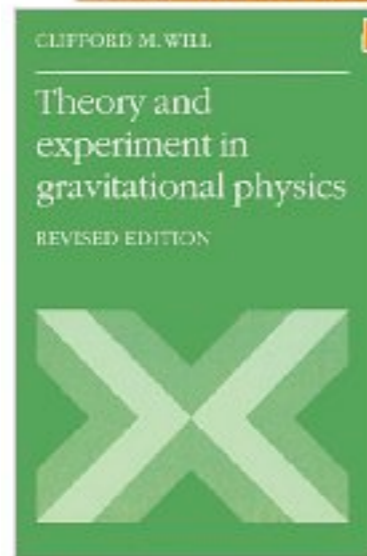
- ★時空の対称性，一様時空
- ★ブラックホール，因果構造
- ★特異点，大域構造
- ★時空の動力学
- ★スピノール
- ★量子効果

相対論の教科書（トピックを学ぶ）

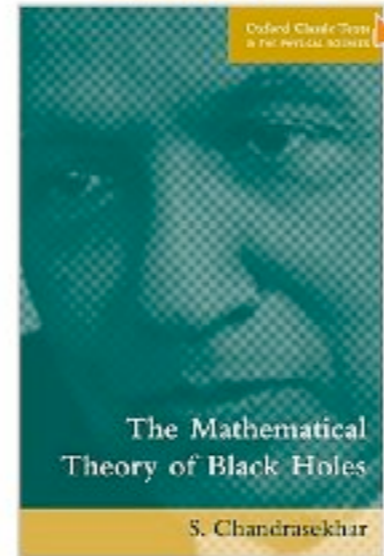
クリック なか見! 検索



クリック なか見! 検索



Click to LOOK INSIDE!



Click to LOOK INSIDE!

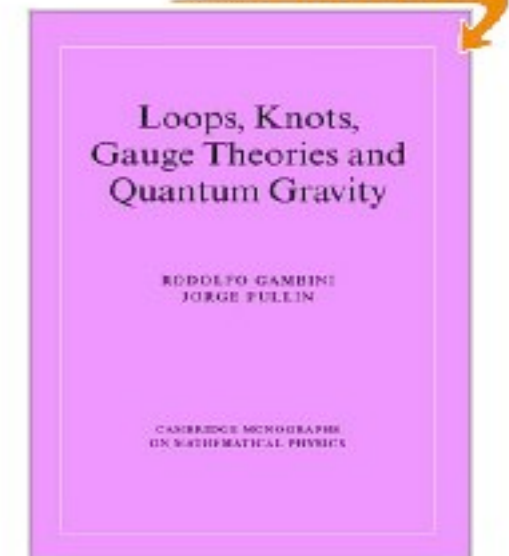


Click to LOOK INSIDE!



- ★ 厳密解
- ★ 重力理論の検証
- ★ BH摂動
- ★ 特異点定理
- ★ ループ重力.

クリック なか見! 検索



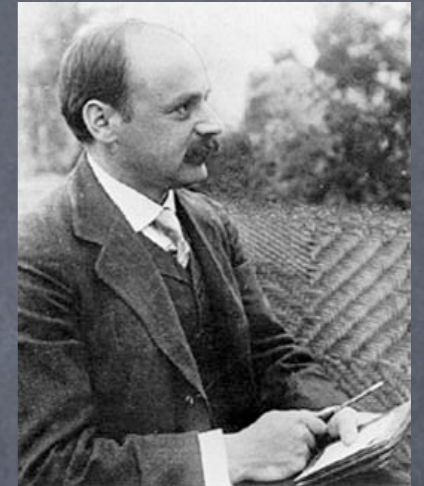
ケーススタディ 1

ブラックホール解

Schwarzschild (1916)

球対称, 真空でのEinstein方程式の厳密解

$$ds^2 = - \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right) c^2 dt^2 + \frac{dr^2}{1 - \frac{2GM}{c^2 r}} + r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2)$$



	電荷なし	電荷あり
宇宙項なし	Schwarzschild 1916	Reissner-Nordstrom 1916, 1918
宇宙項あり	Sch-de Sitter (Kottler) 1918	RN-de Sitter

$$ds^2 = -V(R)dT^2 + \frac{dR^2}{V(R)} + R^2 d\Omega^2$$

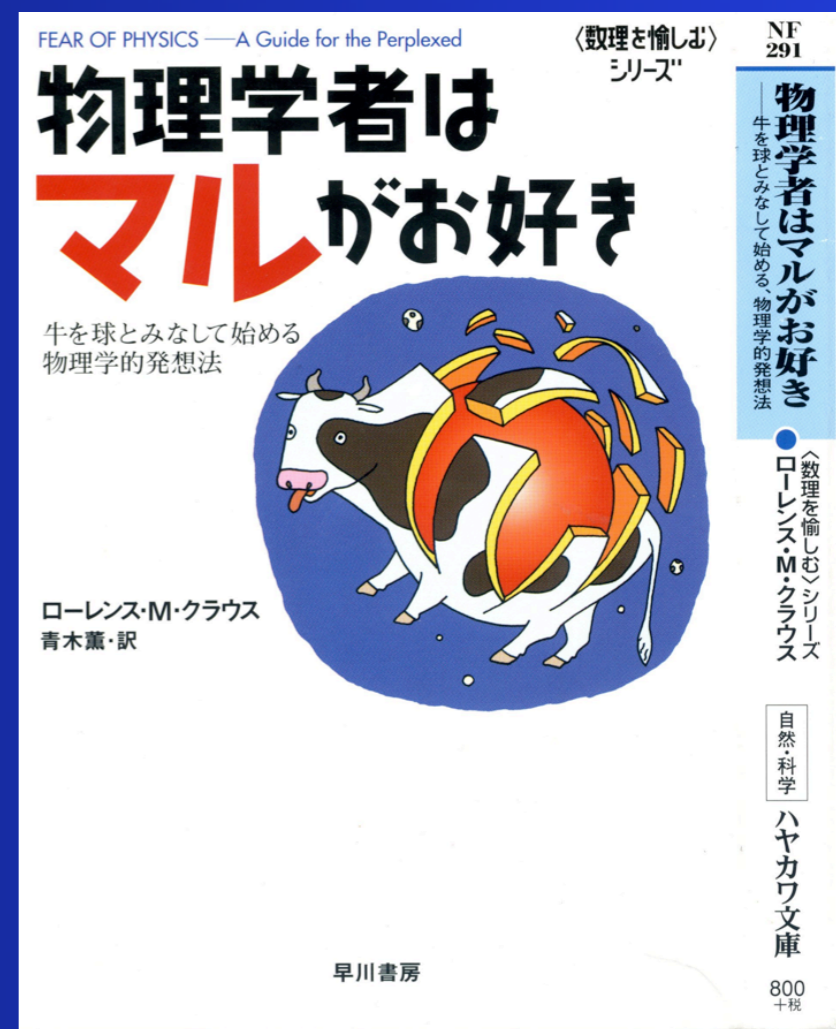
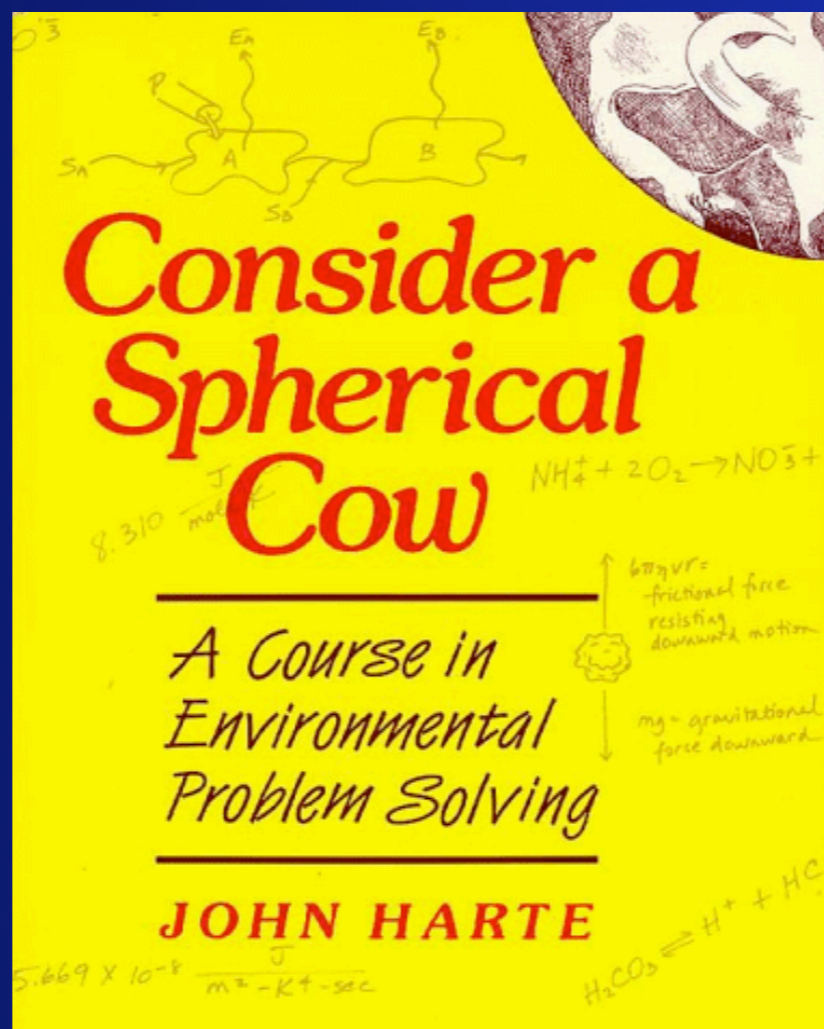
$$V(R) = 1 - \frac{2M}{R} + \frac{Q^2}{R^2} - \frac{\Lambda}{3}R^2$$

Lesson 1

乳牛の乳の生産量を増やすには？

「乳牛の乳の生産量を増やすにはどうしたらよいか」

(物理学者) 「まず、球対称の牛がいた、と考えよう」

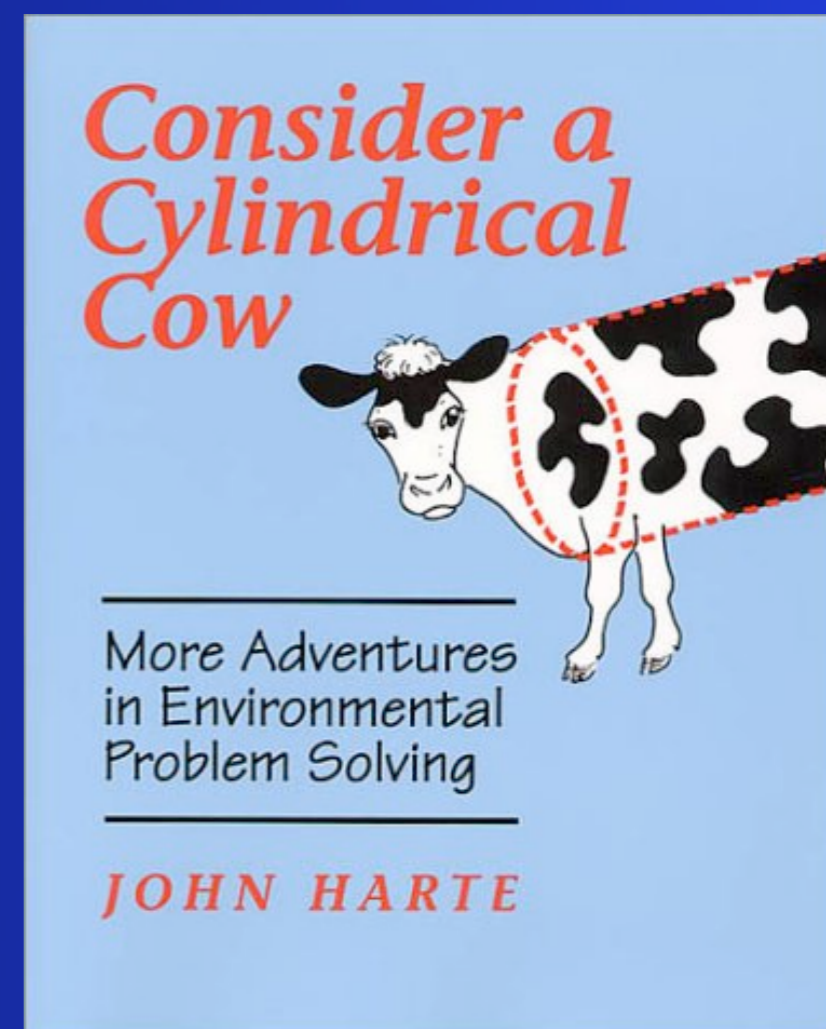
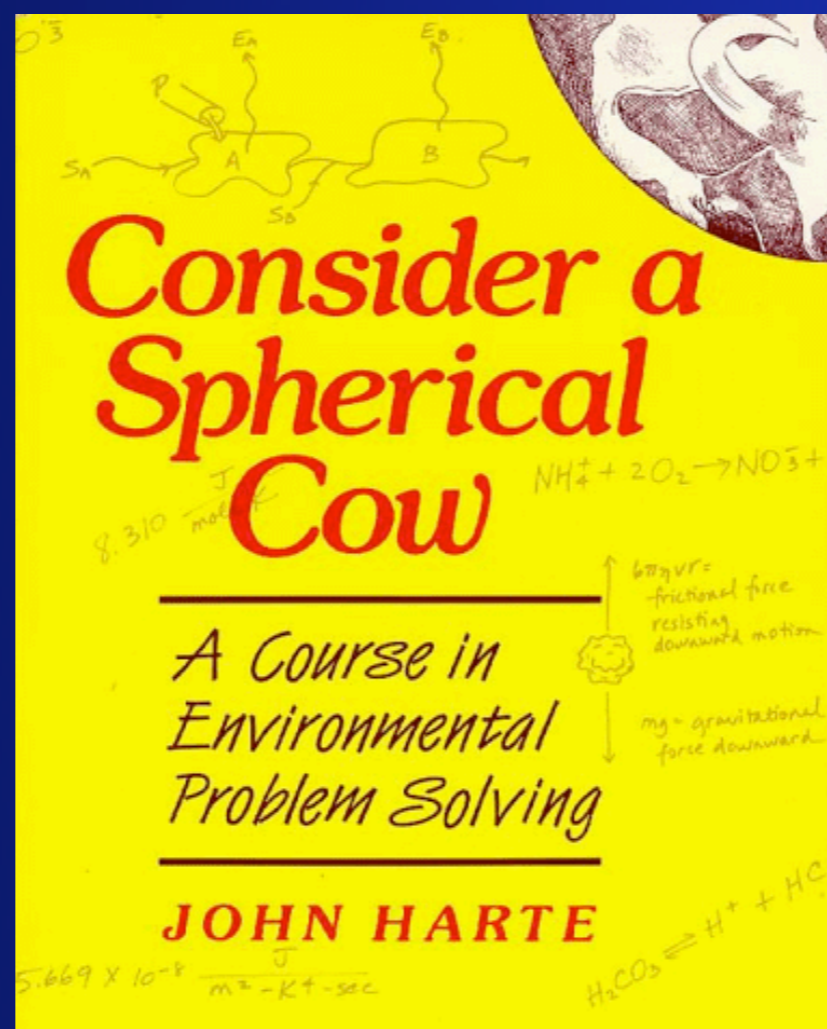


Lesson 1

円筒対称の牛アプローチ【物理屋の思考回路】

「乳牛の乳の生産量を増やすにはどうしたらよいか」

「次に、円筒対称の牛がいた、と考えよう」



Lesson 1

○○対称の牛アプローチ【時空】

「乳牛の乳の生産量を増やすにはどうしたらよいか」

「まず、球対称の牛がいた、と考えよう」

「次に、円筒対称の牛がいた、と考えよう」

「次に、面対称の牛がいた、と考えよう」

「次に、軸対称の牛がいた、と考えよう」

「次に、回転している牛がいた、と考えよう」



GRAVITATIONAL FIELD OF A SPINNING MASS AS AN EXAMPLE
OF ALGEBRAICALLY SPECIAL METRICS

Roy P. Kerr*

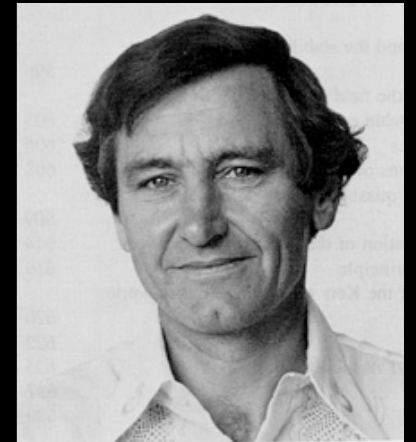
University of Texas, Austin, Texas and Aerospace Research Laboratories, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio

(Received 26 July 1963)

Kerr (1963)

軸対称, 真空でのEinstein方程式の厳密解

$$ds^2 = -\frac{\Delta_r}{\Sigma\Xi^2} [dt - a \sin^2 \theta d\phi]^2 + \frac{\Sigma}{\Delta_r} dr^2 + \frac{\Sigma}{\Delta_\theta} d\theta^2 + \frac{\Delta_\theta \sin^2 \theta}{\Sigma\Xi^2} [(r^2 + a^2)d\phi - a dt]^2$$



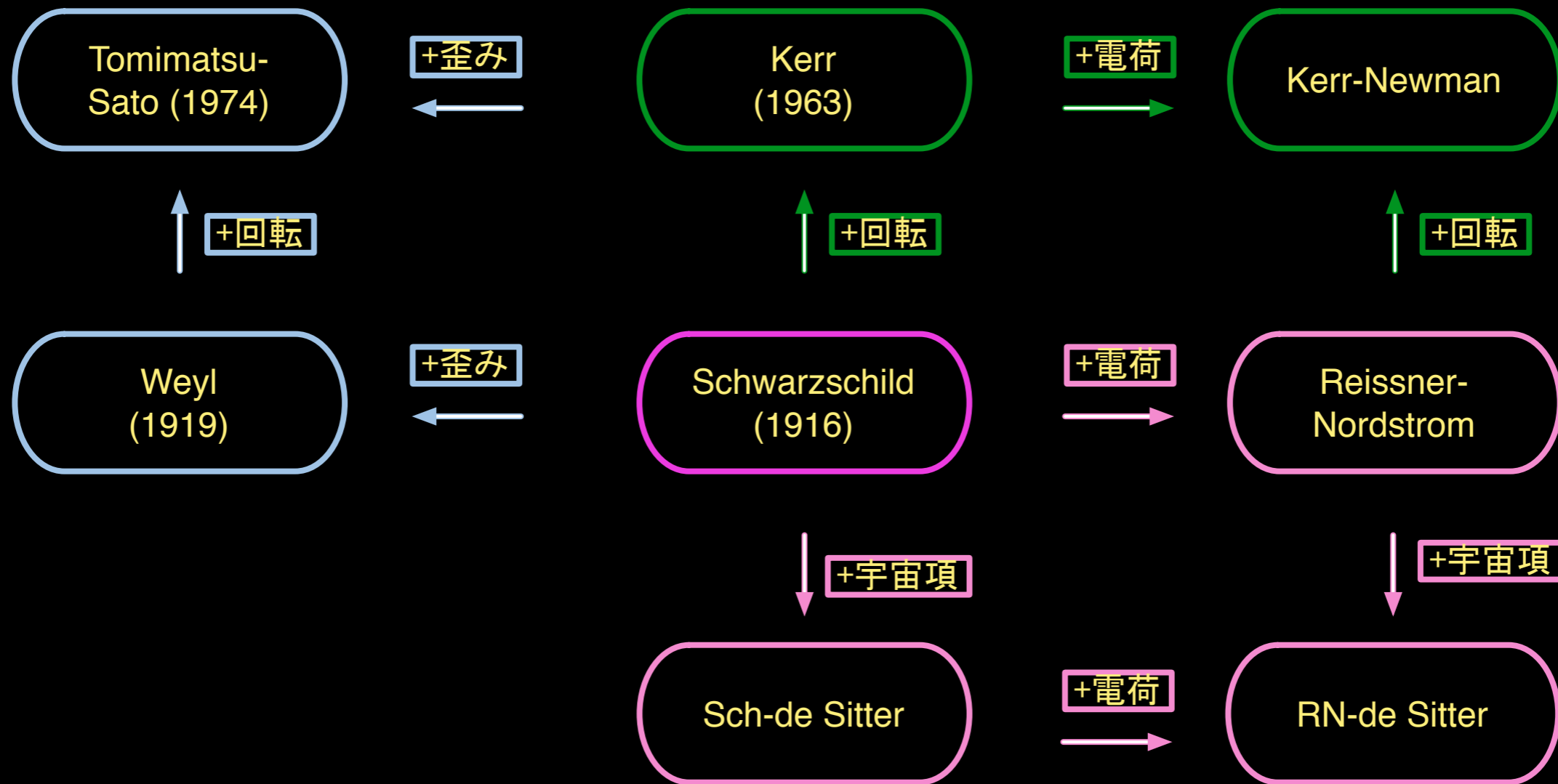
$$\Delta_r = r^2 - 2Mr + a^2 + Q^2 - \frac{1}{3}\Lambda r^2(r^2 + a^2),$$

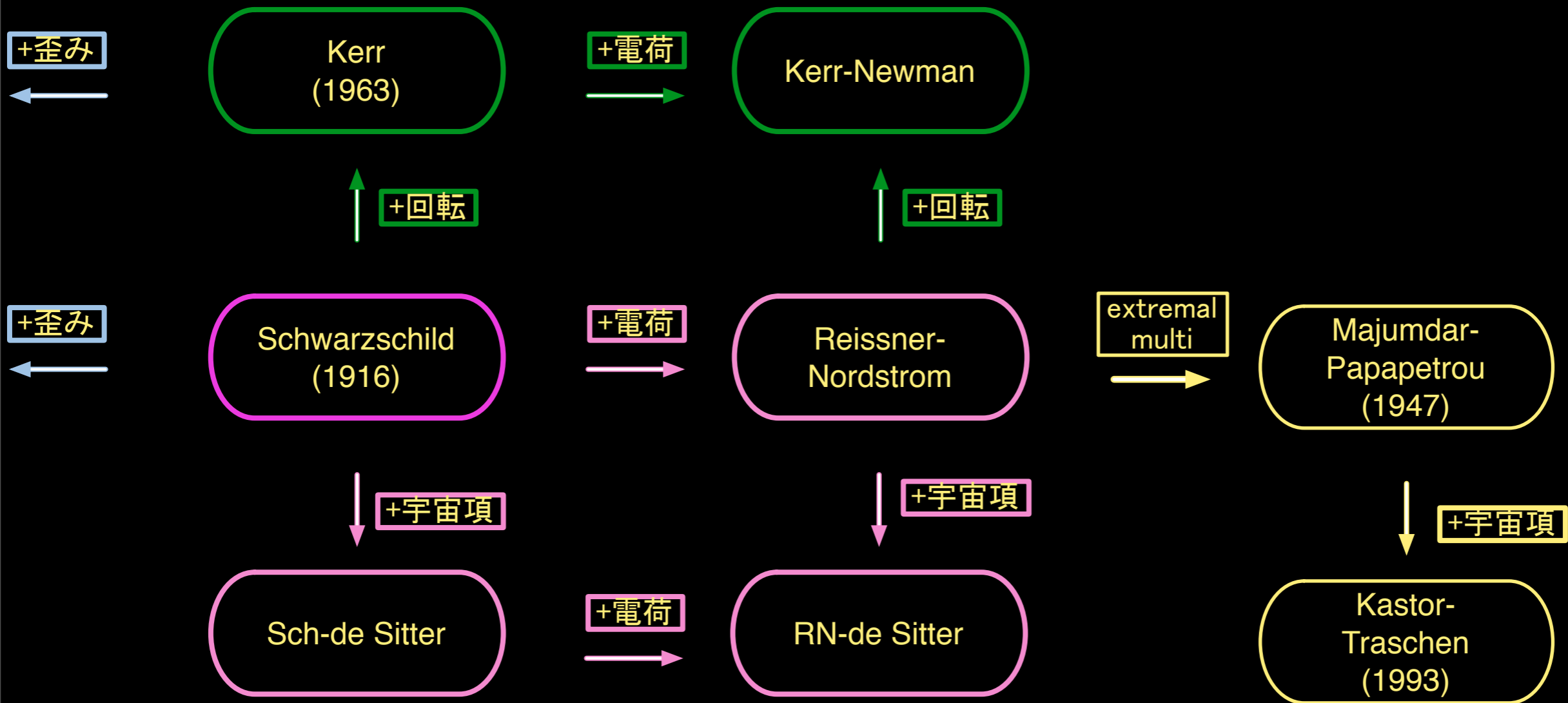
$$\Delta_\theta = 1 + \frac{\Lambda}{3}a^2 \cos^2 \theta,$$

$$\Sigma = r^2 + a^2 \cos^2 \theta,$$

$$\Xi = 1 + \frac{\Lambda}{3}a^2.$$

	電荷なし	電荷あり
宇宙項なし	Kerr 1963	Kerr-Newman 1963
宇宙項あり	Kerr-de Sitter	KN-de Sitter





$$ds^2 = -\frac{dt^2}{\Omega^2} + a^2(t)\Omega^2(dx^2 + dy^2 + dz^2)$$

$$\Omega = 1 + \sum_i \frac{M_i}{ar_i}$$

$$r_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}$$

$$a(t) = e^{Ht}, \quad H = \pm \sqrt{\frac{\Lambda}{3}}$$

Lesson 1

○○対称の牛アプローチ【時空】

「乳牛の乳の生産量を増やすにはどうしたらよいか」

「まず、球対称の牛がいた、と考えよう」

「次に、円筒対称の牛がいた、と考えよう」

「次に、面対称の牛がいた、と考えよう」

「次に、軸対称の牛がいた、と考えよう」

「次に、回転している牛がいた、と考えよう」

「次に、歪んだ牛がいた、と考えよう」

「次に、帯電した牛がいた、と考えよう」

「次に、膨張している牛がいた、と考えよう」

「次に、2頭の牛がいた、と考えよう」



Black Hole研究 小史

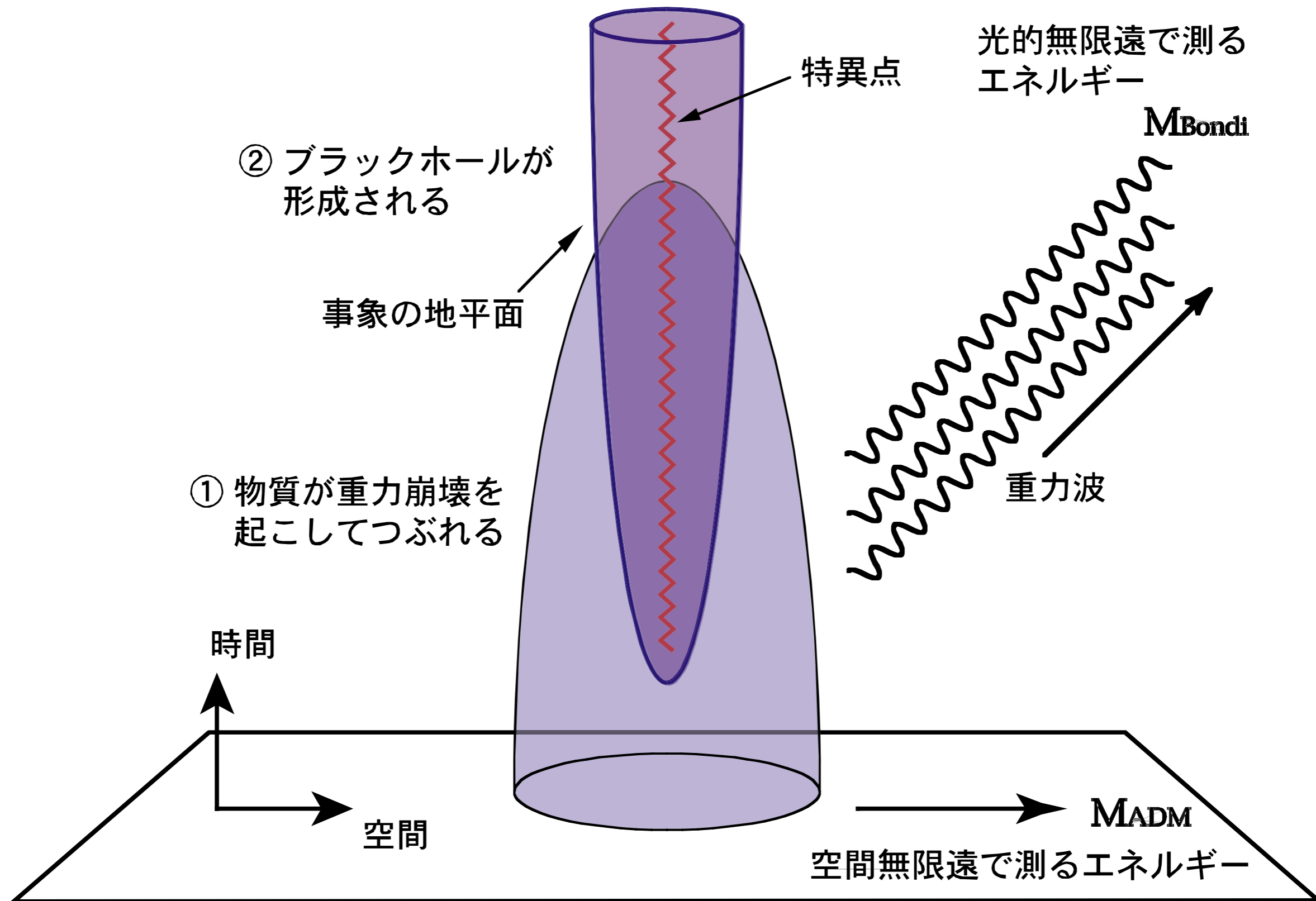
1916	Schwarzschild 解の発見	
1939	Einstein 「BHは存在できない」	
1939	Oppenheimer-Snyder 重力崩壊	PR56, 455
1958	Harrison-Wakano-Wheeler 「現実的な状態方程式ではX」	
1958	Finkelstein 座標表示により, 統一的な説明	PR110, 965
1960	Kruskal 座標表示により, 統一的な説明	PR119, 1743
1962	Fuller-Wheeler, Schwarzschild解の因果構造	PR128, 919
1963	Kerr 解の発見	PRL11, 237
1965	Penrose 「特異点形成は一般的」	PRL14, 57
1967	Wheeler 「Black Hole」 命名	

1960年代にBH研究の黄金時代はじまる

重力波研究 小史

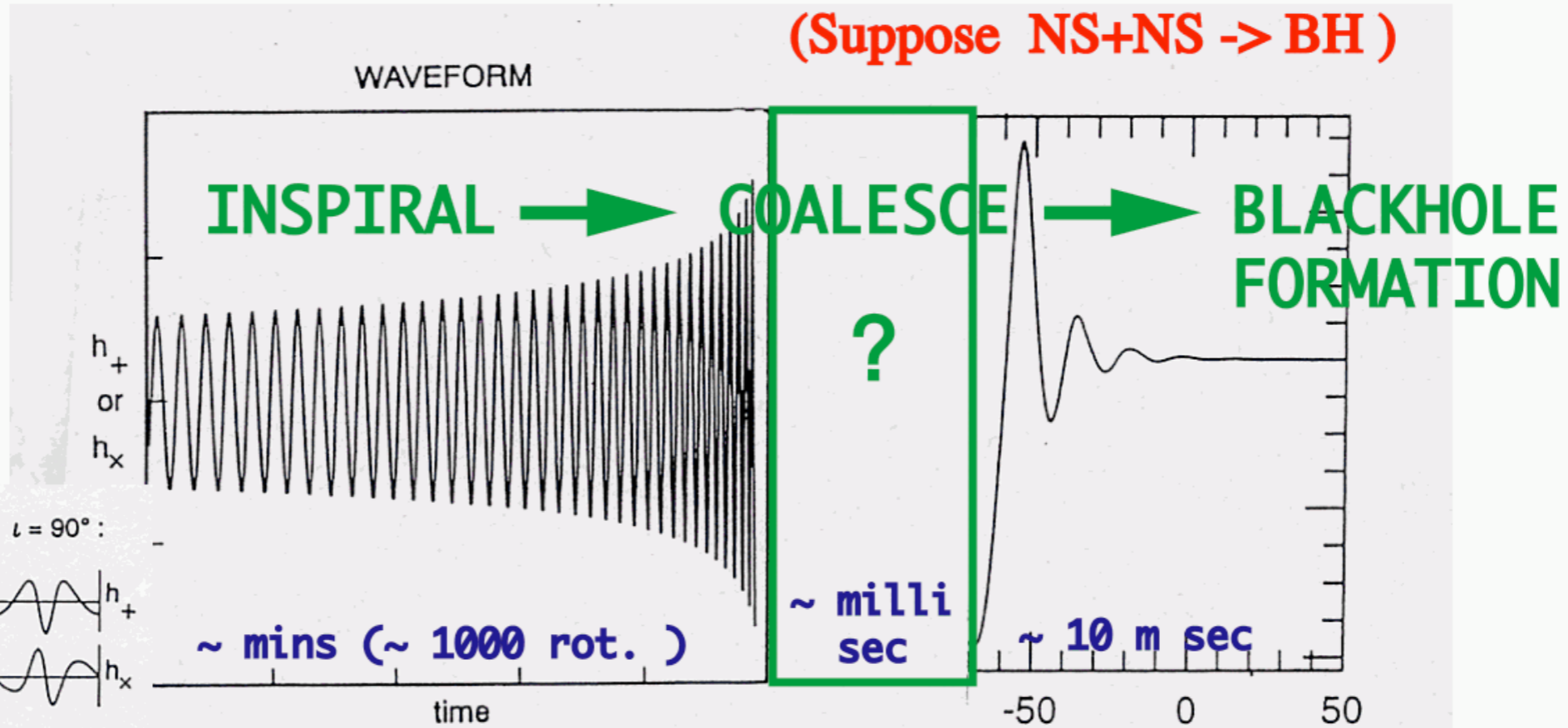
1918	Einstein GWの存在を予言	
1921	Weyl 「GWはTT波」	
1922	Eddington 「TT波は光速伝播, 座標変動との区別必要」	PRSA102, 268
1937	Einstein-Rosen 「GWは存在しない」 → 「GWは存在」	
1955	Goldberg, Schidegger 「GWは存在しない」 Einstein-Infeld-Hoffman近似では反作用項が不定	PR99,1873 PR99,1883
1957-69	Pirani, Sachs, Bondi, Issacson, Infeld-Trautman 「GWは存在する」	
1957-72	Regge-Wheeler, Zerilli, Teukolsky-Press 摂動理論	
1962-73	Newman-Penrose, Gerosh-Held-Penrose ヌル座標分解	
1969	Weber, 重力波の発見 (?)	PRL22, 1320
1974	Hulse-Taylor 連星パルサー PSR1916+13 の発見	ApJ195, L51
90年代	アメリカ・日本・ヨーロッパで重力波観測のレーザー干渉計計画 アメリカで「BH衝突のグランドチャレンジ」プロジェクト	
2000	重力波レーザー干渉計「TAMA300」稼働	

1969年頃まで重力波の存在に決着がついていなかった

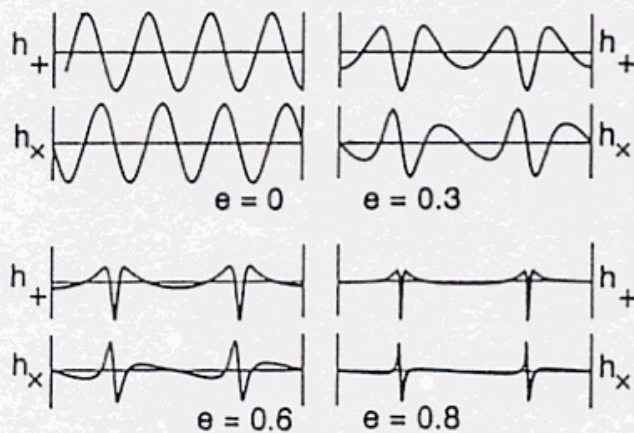


What can we learn from gravitational waveform?

(Suppose NS+NS → BH)



DEPENDENCE ON e , FOR $\iota = 90^\circ$:



DEPENDENCE ON ι , FOR $e = 0$:

$$\frac{\text{Amp}(h_x)}{\text{Amp}(h_+)} = \frac{2 \cos \iota}{1 + \cos^2 \iota}$$

Post Newtonian
Approx.

Numerical
Relativity

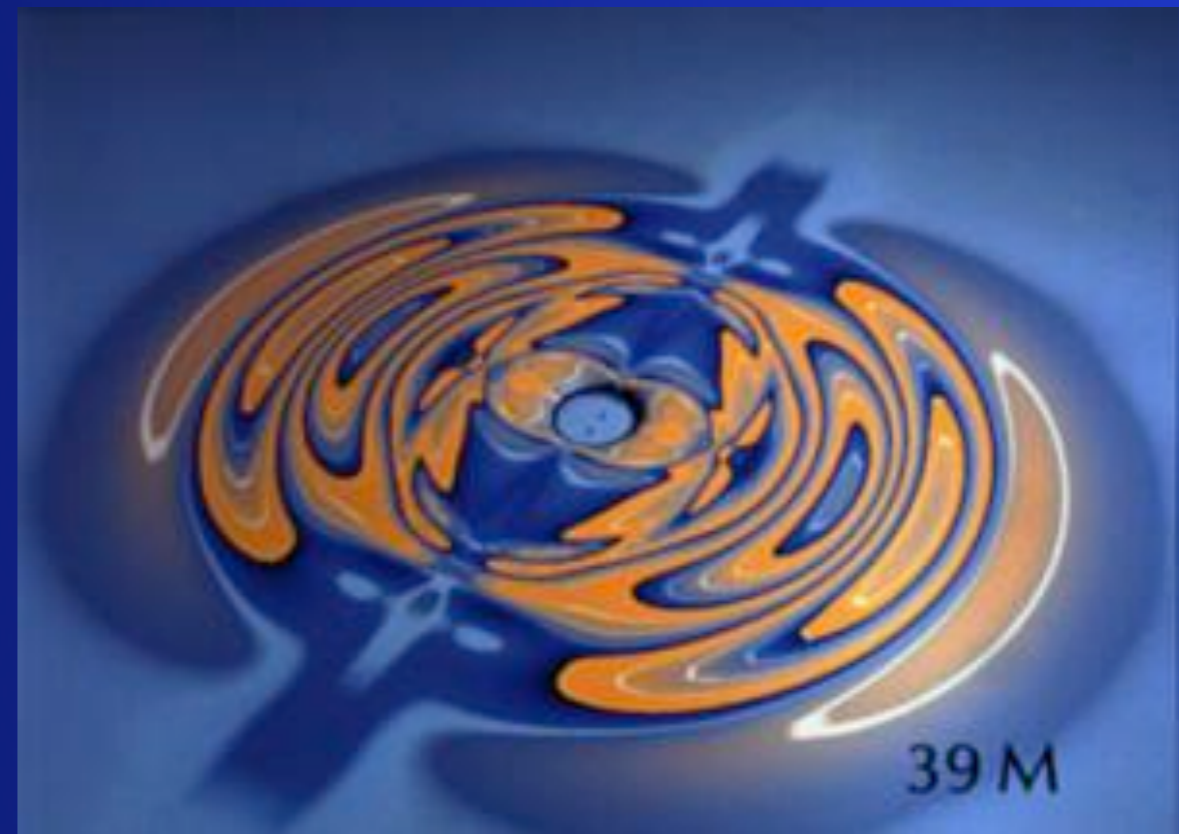
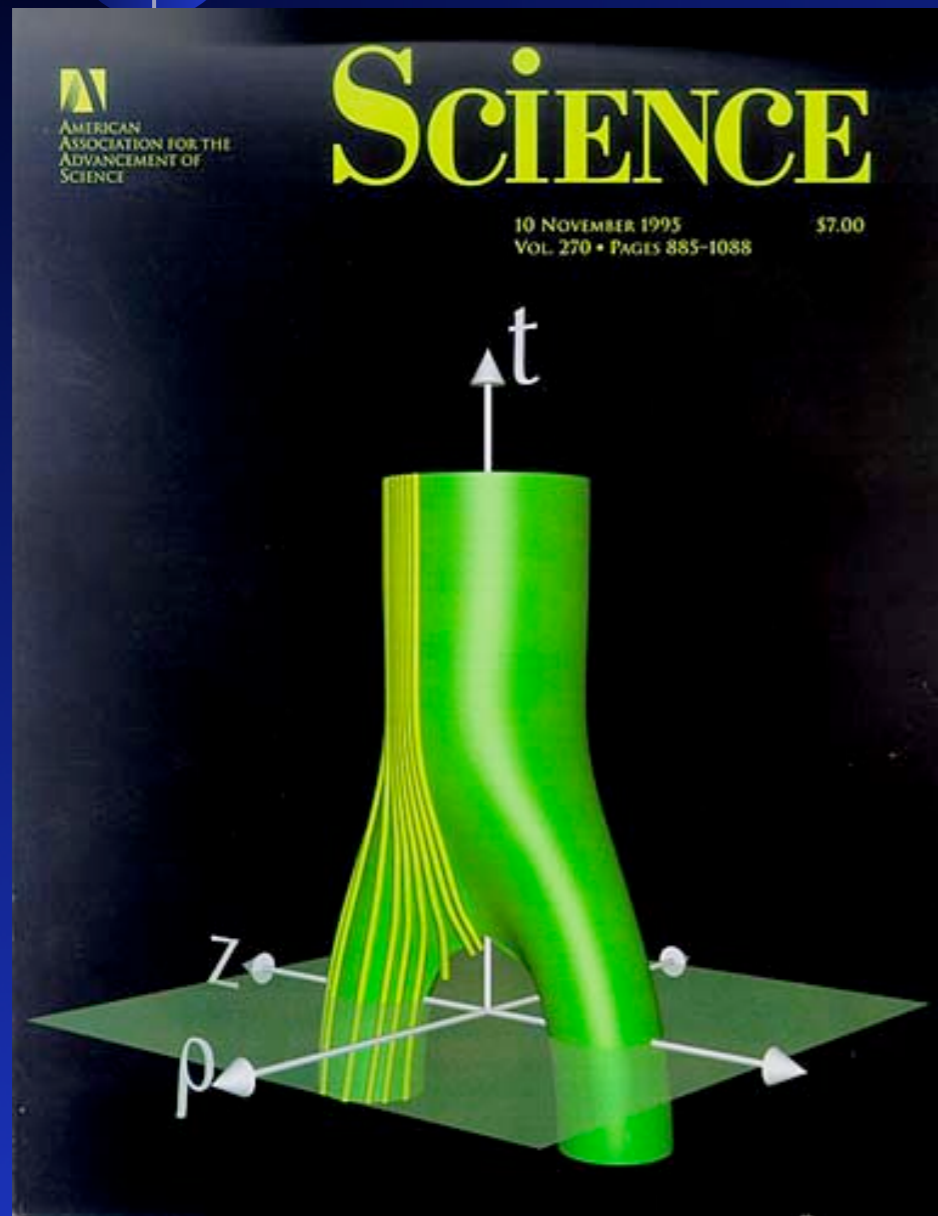
BH. Perturbation

ISCO freq ⇒ EoS of NS,
waveform ⇒ Formation of BH or NS,
BH mass,
BH angular momentum, ...

"chirps" df/dt ⇒ chirp mass, $M_c = (M_1 M_2)^{3/5} / (M_1 + M_2)^{1/5}$
 amplitude up ⇒ M_c , distance
 amplitude h_+/h_x ⇒ inclination
 waveform ⇒ eccentricity
 modulation ⇒ spin, ...

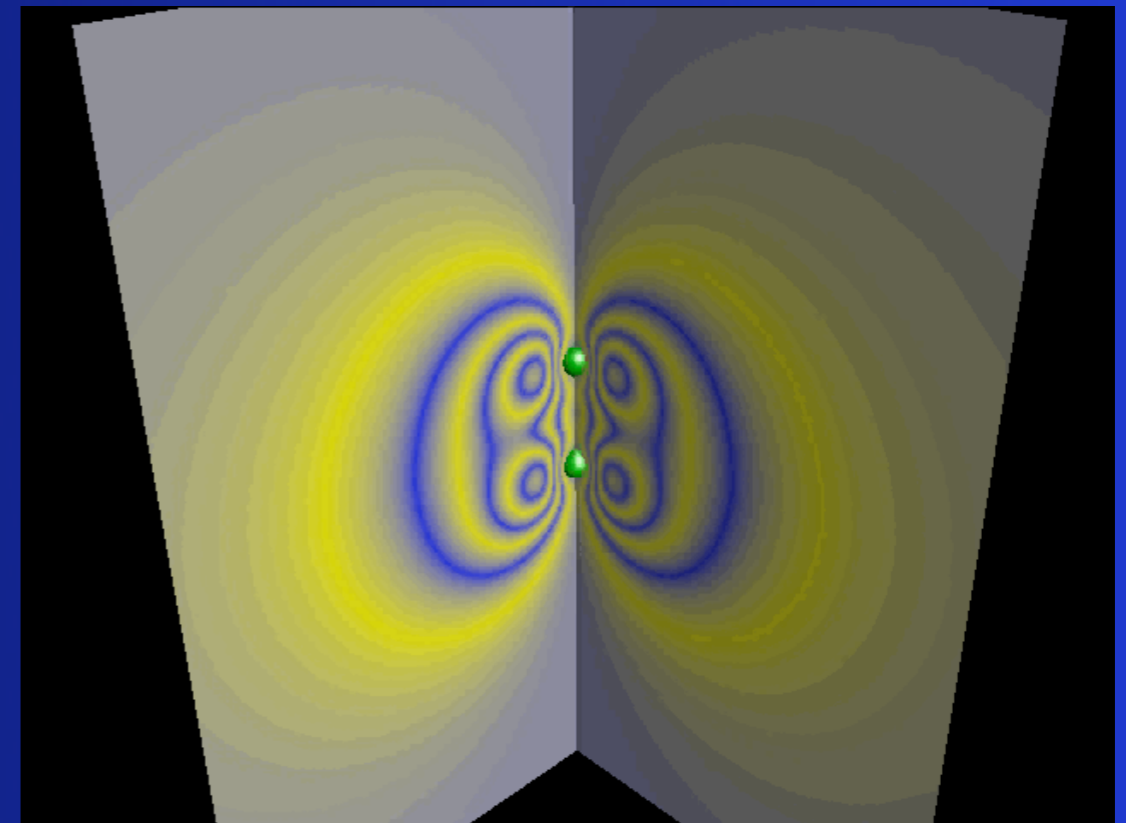
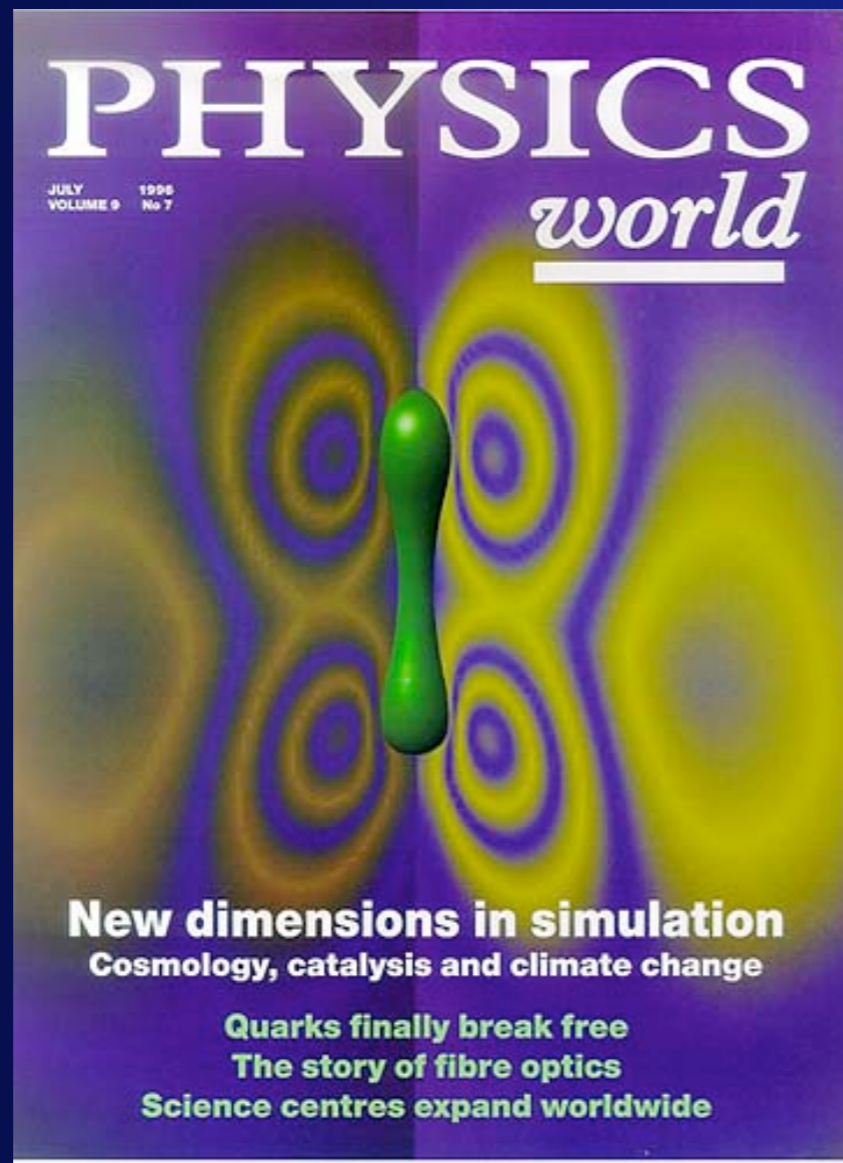
statistics ⇒ cosmological parameters

重力波観測を目的にしたシミュレーション



2つのブラックホールの合体と重力波放出
(90年代, NCSAグループ)

重力波観測を目的にしたシミュレーション



2つのブラックホールの合体と重力波放出
(NCSA/AEI グループ)

宇宙論研究 小史

1917	Einstein 「宇宙項の導入」 定常宇宙モデル	
1922-35	Friedmann, Lemaitre, Robertson, Walker 膨張宇宙モデル	
1929, 31	Hubble 赤方偏移の発見, 膨張宇宙の実証	
1948	Gamow, Alpher-Bethe-Gamow ビッグバン宇宙論	PR 73, 803 PR 74, 505
1948-	Hoyle-Gold-Bondi 定常宇宙論	
1964	Penzias-Wilson 宇宙背景輻射(CMB)の発見	ApJ 142 (65) 419
1981	Sato, Guth インフレーション宇宙論	MNRAS 195, 467 PRD 23, 347
1992	Smoot et al. COBE衛星, CMB非等方性の発見	
1998-	ブレイン宇宙論	
2003-	Spergel et al. WMAP衛星, 宇宙論パラメータ特定	

Dark Energy, Dark Matter, Dark Age 問題が残る

ケーススタディ2

1981~

インフレーション

標準BigBang宇宙論の

地平線問題

平坦性問題

銀河形成問題

モノポール問題

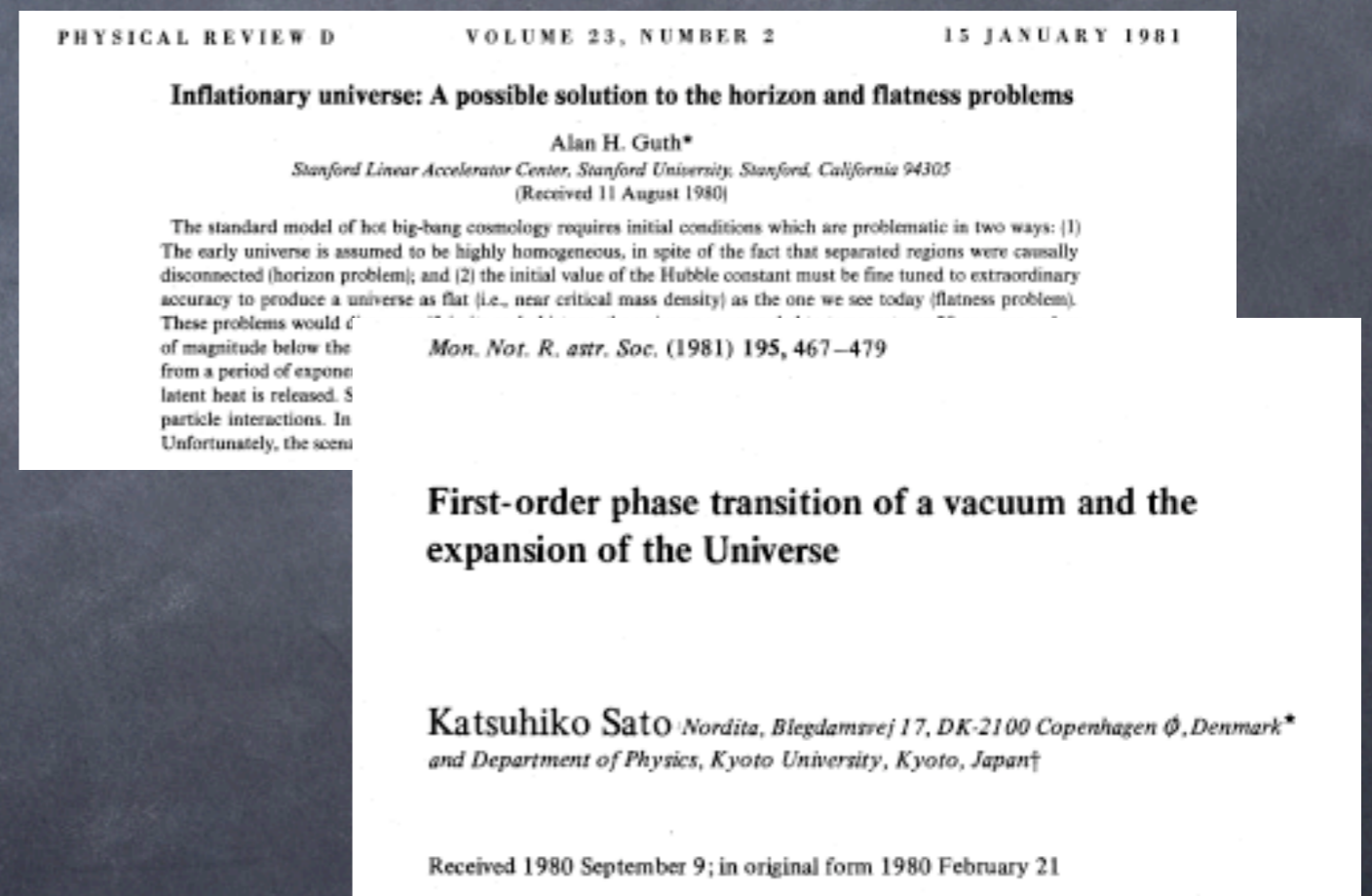
を解決するため.

Guth, PRD23(1981)347

Sato, MNRAS 195(1981)467

Starobinsky, PLB 91(1980) 99

Kazanas, ApJL 241 (1980) L59



宇宙の初期に指数関数的な急激な膨張があった

インフレーションモデル

インフレーションを引き起こす場

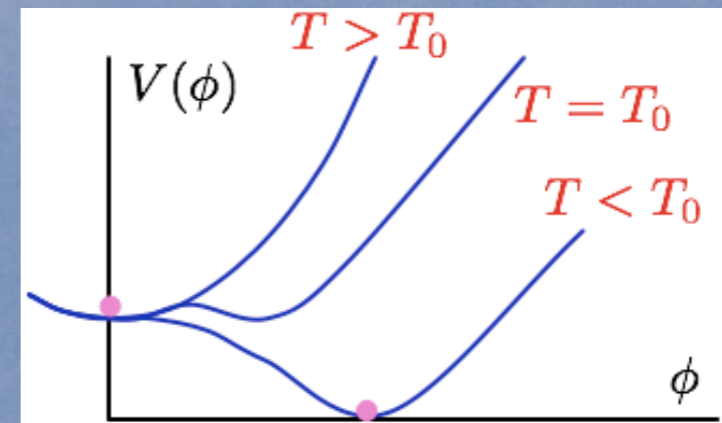
$$S = \int d^4x [L_{\text{gravity}} + L_{\text{matter}}]$$

$$\frac{\sqrt{-g}}{2\kappa^2} R$$

(original model)

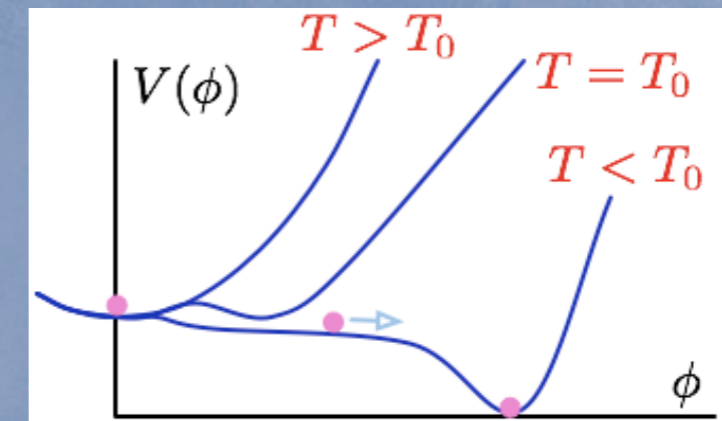
old inflation

Guth 81, Sato 81



new inflation

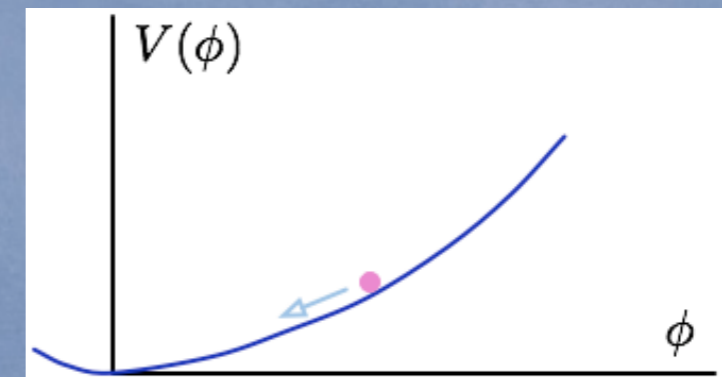
Linde 82



chaotic inflation

“inflaton”

Linde 83



インフレーションモデル

インフレーションを引き起こす場

$$S = \int d^4x [L_{\text{gravity}} + L_{\text{matter}}]$$

重力理論の補正

$$\frac{\sqrt{-g}}{2\kappa^2} R$$

$$\frac{\sqrt{-g}}{2\kappa^2} [R + \alpha R^2]$$

$$\frac{\sqrt{-g}}{2\kappa^2} [R + \alpha R^2 + \beta R^3]$$

$$\frac{\sqrt{-g}}{2\kappa^2} [R + \alpha R^2 + \gamma R \square R]$$

$$\frac{\sqrt{-g}}{2\kappa^2} [R + \alpha e^{\beta\phi} R^2 + (\nabla\phi)^2]$$

$$\frac{\sqrt{-g}}{2\kappa^2} [R + \alpha R^2] - \frac{1}{2}\xi\phi^2 R - \frac{1}{2}(\nabla\phi)^2$$

old inflation
new inflation
chaotic inflation

インフレーションモデル

$$S = \int d^4x [L_{\text{gravity}} + L_{\text{matter}}]$$

インフレーションを引き起こす場

重力理論の補正

Einstein
R2-cosmology
non-minimum coupling
Induced gravity
Brans-Dicke gravity
Kaluza-Klein theory
Gauss-Bonnet gravity
etc.

old inflation
new inflation
chaotic inflation
soft inflation
extended inflation
hybrid inflation
topological inflation
open inflation
dilation inflation

power-law inflation
natural inflation
supernatural inflation
eternal inflation
mexican inflation
bubble inflation
creeping inflation
galloping inflation
hyper inflation
etc. etc.

「インフレーションモデルは研究者の数だけある」

Lesson 2

○○対称の牛アプローチ【part 2】

「乳牛の乳の生産量を増やすにはどうしたらよいか」

「原因となるメカニズムを考えよう」

「次に、新しい物質場があった、と考えよう」

「次に、ポテンシャルがこうだった、と考えよう」

「次に、スカラー場を2つ考え、couplingさせよう」

「次に、時空の曲率を考えよう」

「次に、重力場に補正項を考えよう」

「次に、拡張された重力理論で考えよう」

「次に、重力場と物質場の相互作用を考えよう」



BH形成の臨界現象

球対称, massless scalar場のBH形成

(1) 臨界点近傍では場は離散的な自己相似性を持つ

(同じパターンが繰り返される) $\Phi(te^\Delta, re^\Delta) \simeq \Phi(t, r)$

(2) BH質量 M (秩序パラメタ) は波形や振幅などの (制御) パラメタ p と,

$$M \propto |p - p^*|^\beta$$

(3) $\Delta \simeq 3.4, \beta \simeq 0.37$ の値は初期条件に依存しない。

VOLUME 70, NUMBER 1 PHYSICAL REVIEW LETTERS 4 JANUARY 1993

Universality and Scaling in Gravitational Collapse of a Massless Scalar Field

Matthew W. Choptuik
 Center for Relativity, University of Texas at Austin, Austin, Texas 78712-1081
 (Received 22 September 1992)

I summarize results from a numerical study of spherically symmetric collapse of a massless scalar field. I consider families of solutions, $S[p]$, with the property that a critical parameter value, p^* , separates solutions containing black holes from those which do not. I present evidence in support of conjectures that (1) the strong-field evolution in the $p \rightarrow p^*$ limit is universal and generates structure on arbitrarily small spatiotemporal scales and (2) the masses of black holes which form satisfy a power law $M_{\text{BH}} \propto |p - p^*|^\gamma$, where $\gamma \approx 0.37$ is a universal exponent.

TABLE I. Initial data specification for various one-parameter families discussed in text. For families (a)–(c), I specified the initial pulses to be purely in-going. For family (d), the functions $X_>(r)$, $Y_<(r)$ and $X_>(r)$, $Y_>(r)$ are late-time fits to subcritical and supercritical evolutions, respectively, of the pulse shape shown in Fig. 1(d).

Family	Form of initial data	p
(a)	$\phi(r) = \phi_0 r^3 \exp(-[(r - r_0)/\delta]^q)$	ϕ_0, r_0, δ, q
(b)	$\phi(r) = \phi_0 \tanh[(r - r_0)/\delta]$	ϕ_0
(c)	$\phi(r + r_0) = \phi_0 r^{-5} [\exp(1/r) - 1]^{-1}$	ϕ_0
(d)	$X(r) = (1 - \eta)X_<(r) + \eta X_>(r)$ $Y(r) = (1 - \eta)Y_<(r) + \eta Y_>(r)$	η

TABLE II. Numerically determined values of the scaling exponent γ in the conjectured relationship $M_{\text{BH}} \simeq c_f |p - p^*|^\gamma$. μ_{min} and μ_{max} are the minimum and maximum mass fractions ($\mu \equiv M_{\text{BH}}/M$) of the black holes computed in the simulation and γ is the least-squares estimate of the scaling exponent.

Family	Parameter	μ_{min}	μ_{max}	γ
(a)	ϕ_0	7.9×10^{-3}	8.9×10^{-1}	0.376
(a)	δ	1.3×10^{-3}	9.4×10^{-1}	0.372
(a)	q	3.1×10^{-3}	9.8×10^{-1}	0.372
(a)	r_0	1.3×10^{-2}	9.2×10^{-1}	0.379
(b)	ϕ_0	2.8×10^{-3}	4.0×10^{-1}	0.372
(c)	ϕ_0	4.9×10^{-3}	9.9×10^{-1}	0.366
(d)	η	2.2×10^{-5}	1.7×10^{-2}	0.380

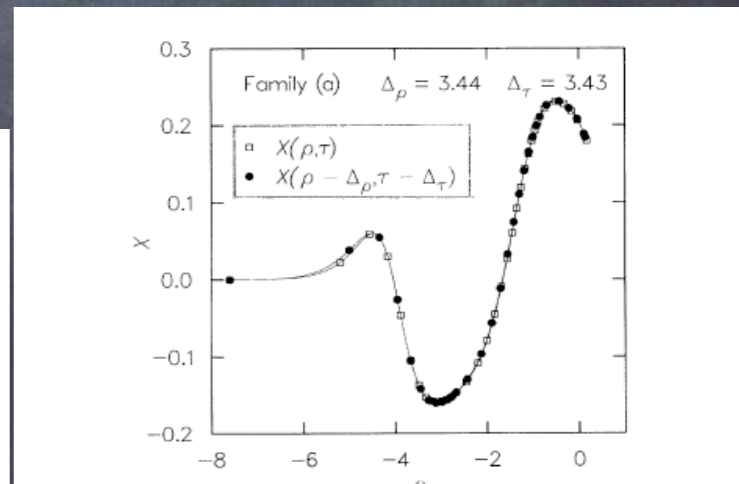


FIG. 2. Illustration of the rescaling or echoing property observed in near-critical evolution of the scalar field. The curve marked with open squares shows the profile of the scalar field variable, X , at some proper central time T_0 . The curve marked with solid circles is the profile at a later time $T_0 + e^{\Delta\tau}$ but on a scale $e^{\Delta\rho} \approx 30$ times smaller.

- 1993 Choptuik: 球対称, massless scalar場のBH形成
1993 Abrahams-Evans: 軸対称, 真空, 重力波, PRL 70 (1994) 2980
1994 Evans-Coleman: 球対称, 輻射流体, PRL 72 (1994) 1782
「連続的自己相似性」

ポテンシャル付スカラー場,
axion-dilaton系,
2+1次元モデル,
複素スカラー場,
厳密解に基づくモデル, 線形摂動,
流体+状態方程式,

- 1995 Koike-Hara-Adachi, PRL74 (1995) 5170
1995 Gundlach, PRL75 (1995) 3214
1996 Maison, PLB366 (1996) 82

自己相似解+くりこみ群+相転移

Lesson 3

○○対称の牛アプローチ【part 3】

「乳牛の乳の生産量を増やすにはどうしたらよいか」

「原因となるメカニズムを考えよう」

「次に、違う物質場で、考えよう」

「次に、違う状態方程式で、考えよう」

「次に、違う次元で、考えよう」

「次に、厳密解に基づいたモデルを考えよう」

「次に、厳密解の摂動展開を考えよう」

「次に、他の物理とのアナロジーを考えよう」

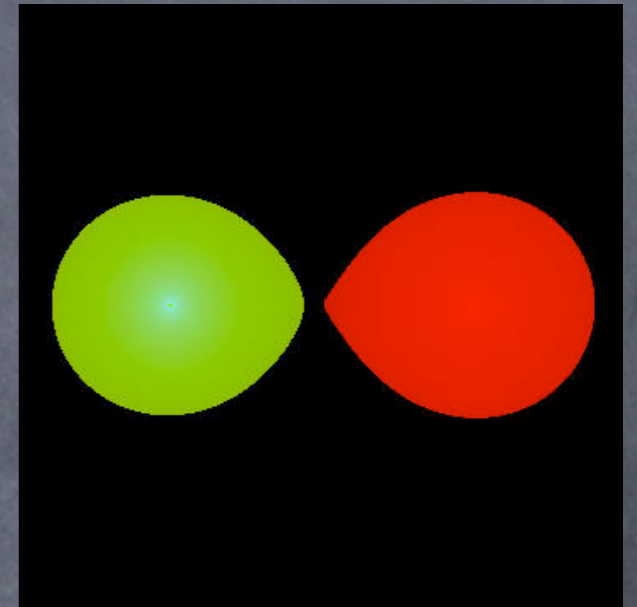


ケーススタディ4

中性子星連星の平衡形状問題

ISCO (Innermost Stable Circular Orbit) problem

ISCOは存在するのか,
何の物理がISCOを決めるのか.



Newtonian, 2点粒子 \Rightarrow no ISCO

Newtonian, 潮汐力変形 \Rightarrow ISCO exists

【Q1】 Post-Newtonian ? GR ?

【Q2】 Synchronized Binary ?

Irrotational Binary ?

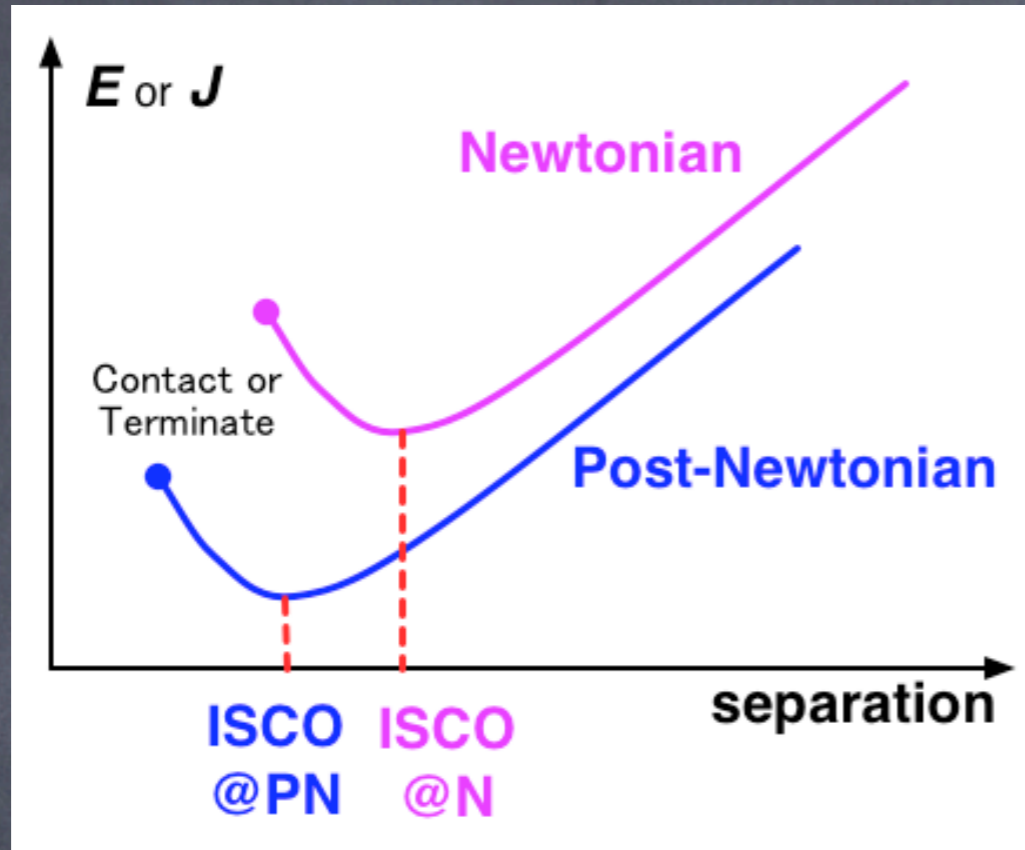
【Q3】 EOS dependence?

Polytropic EOS

$$P = K \rho^\gamma = K \rho^{1 + \frac{1}{n}}$$

	γ	n	
	∞	0	homogeneous gas sphere, incompressible Lane-Emden exact soln. @ Newtonian
Stiff Hard	3	0.5	
	2	1	Lane-Emden exact soln. @ Newtonian
↕	5/3	1.5	non-relativistic gas sphere, low density, non-relativistic WD, normal star
	1.5	2	
Soft	4/3	3	relativistic gas (photon) sphere, high density star Chandrasekhar mass (relativistic WD)
			stability limit for perturbation
	1.2	5	limit for star solution Lane-Emden exact soln. @ Newtonian
	1	∞	isothermal spheres of an ideal gas

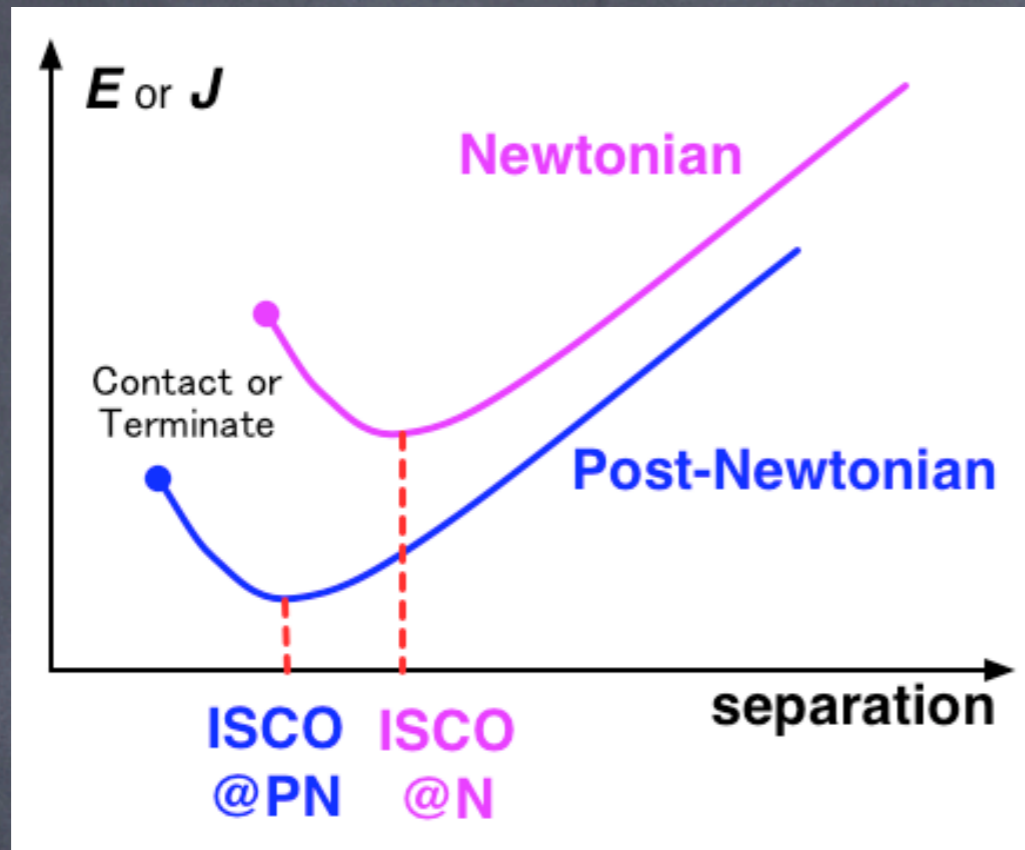
Equilibrium Configuration of Binary NSs



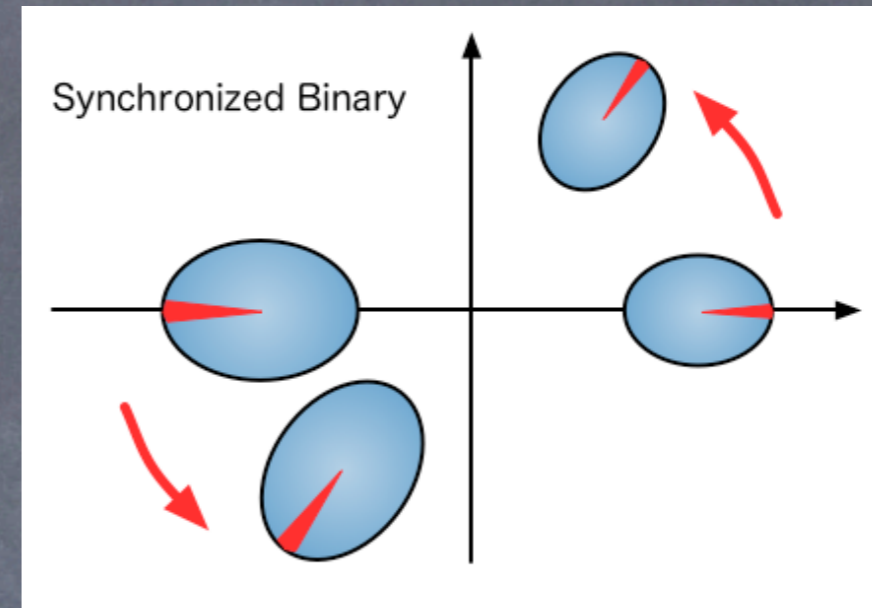
$$P = K \rho^\gamma = K \rho^{1 + \frac{1}{n}}$$

γ	1.5	5/3	2.0	3.0	∞
n	2.0	1.5	1.0	0.5	0
Newtonian [models]					
Newtonian [full]					
PN [models]					
PN [full]					
GR [full]					

Equilibrium Configuration of Binary NSs

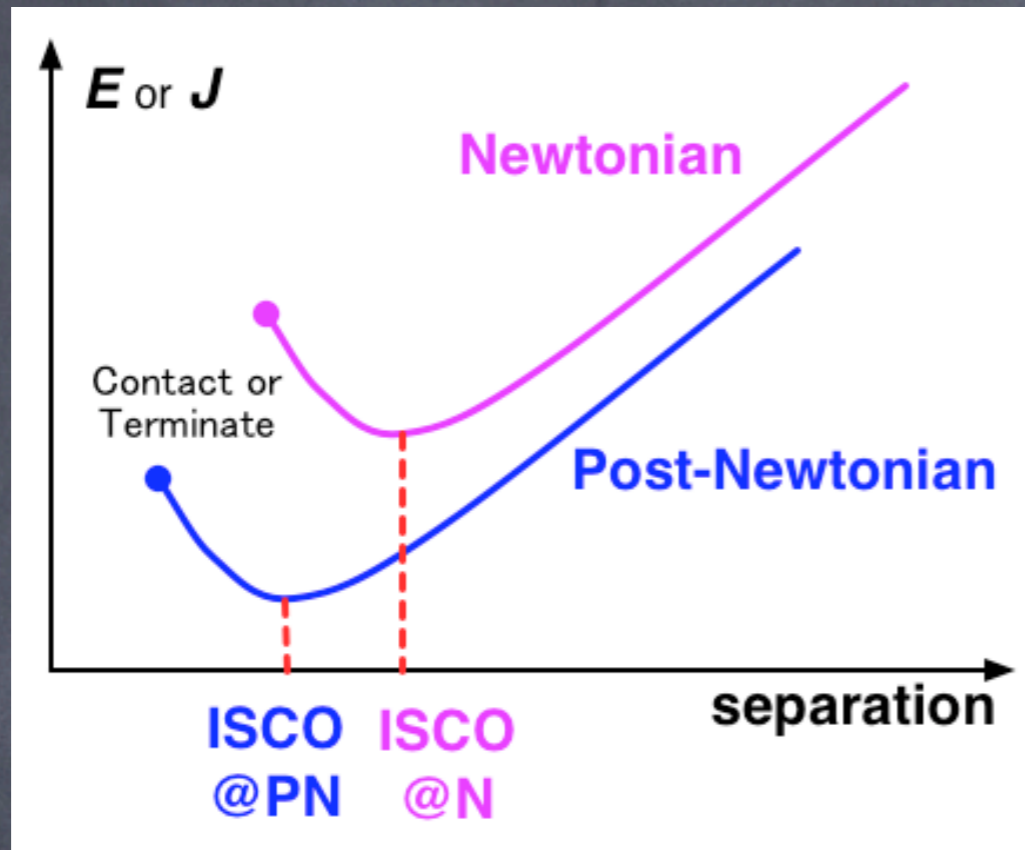


$$P = K \rho^\gamma = K \rho^{1 + \frac{1}{n}}$$

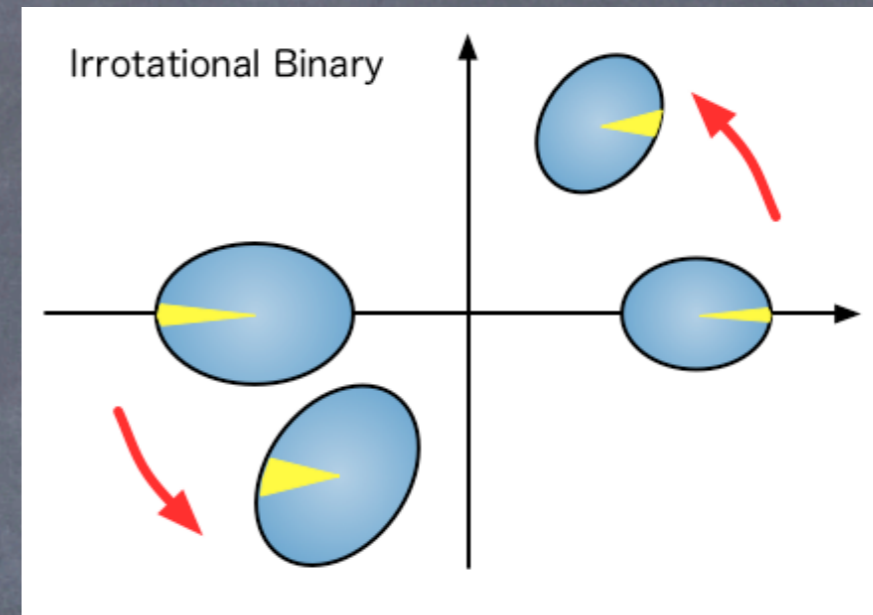


γ	1.5	5/3	2.0	3.0	∞
n	2.0	1.5	1.0	0.5	0
Newtonian [models]	no	yes	yes		yes
Newtonian [full]		no	yes	yes	
PN [models]			yes	yes	yes
PN [full]			yes	yes	
GR [full]	no	no	yes		

Equilibrium Configuration of Binary NSs



$$P = K \rho^\gamma = K \rho^{1 + \frac{1}{n}}$$



γ	1.5	5/3	2.0	3.0	∞
n	2.0	1.5	1.0	0.5	0
Newtonian [models]		no	yes		
Newtonian [full]		no	no	yes	yes
PN [models]					yes
PN [full]					yes
GR [full]			no		

牛アプローチ【まとめ】



「乳牛の乳の生産量を増やすにはどうしたらよいか」

「まず、球対称の牛がいた、と考えよう」

「次に、円筒対称の牛がいた、と考えよう」

「次に、面対称の牛がいた、と考えよう」

「次に、軸対称の牛がいた、と考えよう」

「次に、回転している牛がいた、と考えよう」

「次に、歪んだ牛がいた、と考えよう」

「次に、帯電した牛がいた、と考えよう」

「次に、膨張している牛がいた、と考えよう」

「次に、2頭の牛がいた、と考えよう」

「次に、重力場に補正項を考えよう」

「次に、拡張された重力理論で考えよう」

「次に、重力場と物質場の相互作用を考えよう」

「次に、Newton, PostNewtonianで考えよう」

「原因となるメカニズムを考えよう」

「次に、新しい物質場があった、と考えよう」

「次に、違う物質場で、考えよう」

「次に、ポテンシャルがこうだった、と考えよう」

「次に、スカラー場を2つ考え、couplingさせよう」

「次に、時空の曲率を考えよう」

「次に、違う状態方程式で、考えよう」

「次に、違う回転則で、考えよう」

「次に、違う境界条件で、考えよう」

「次に、違う次元で、考えよう」

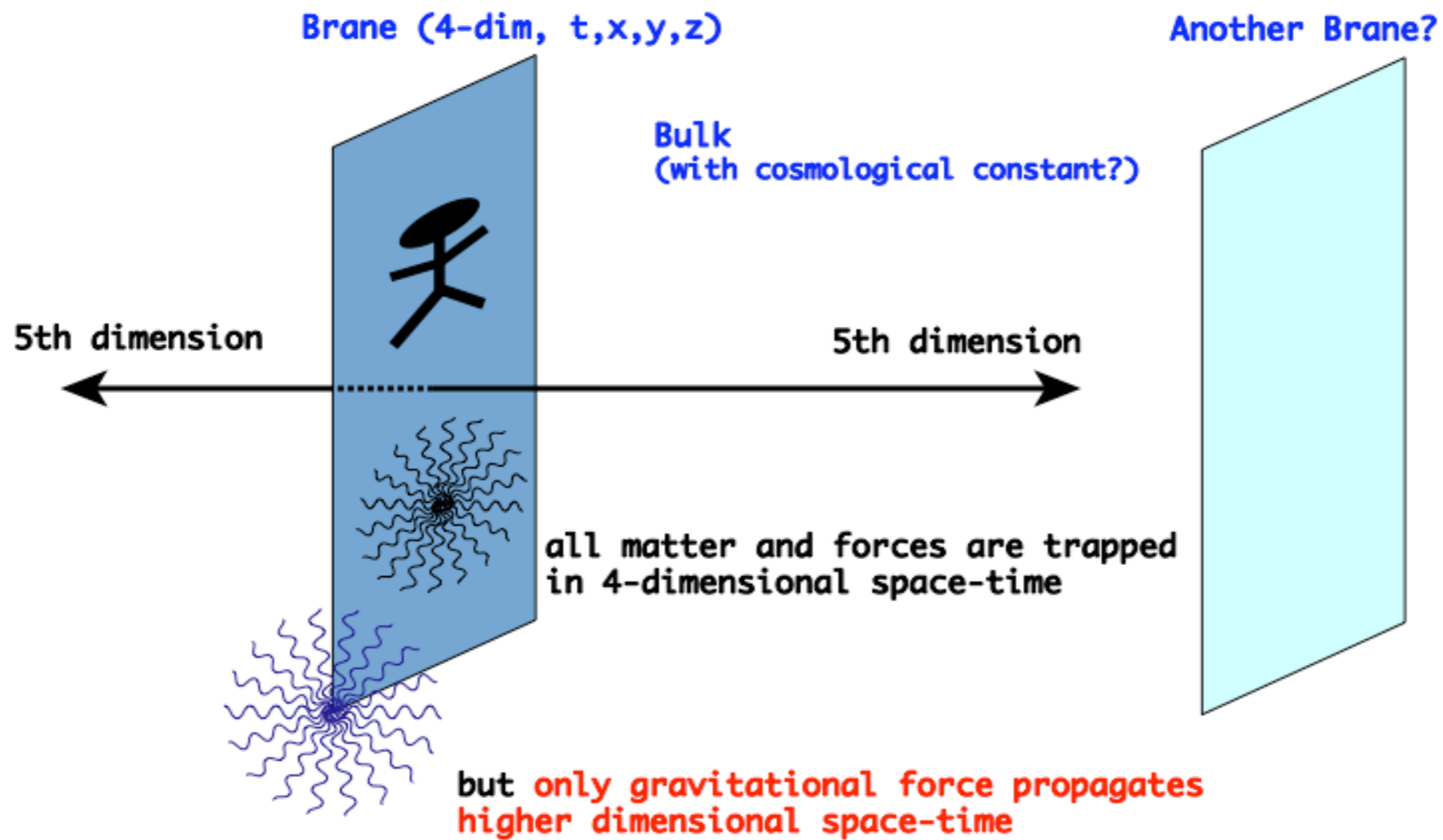
「次に、厳密解に基づいたモデルを考えよう」

「次に、厳密解の摂動展開を考えよう」

「次に、他の物理とのアナロジーを考えよう」


ブレンワールド

Brane-World model



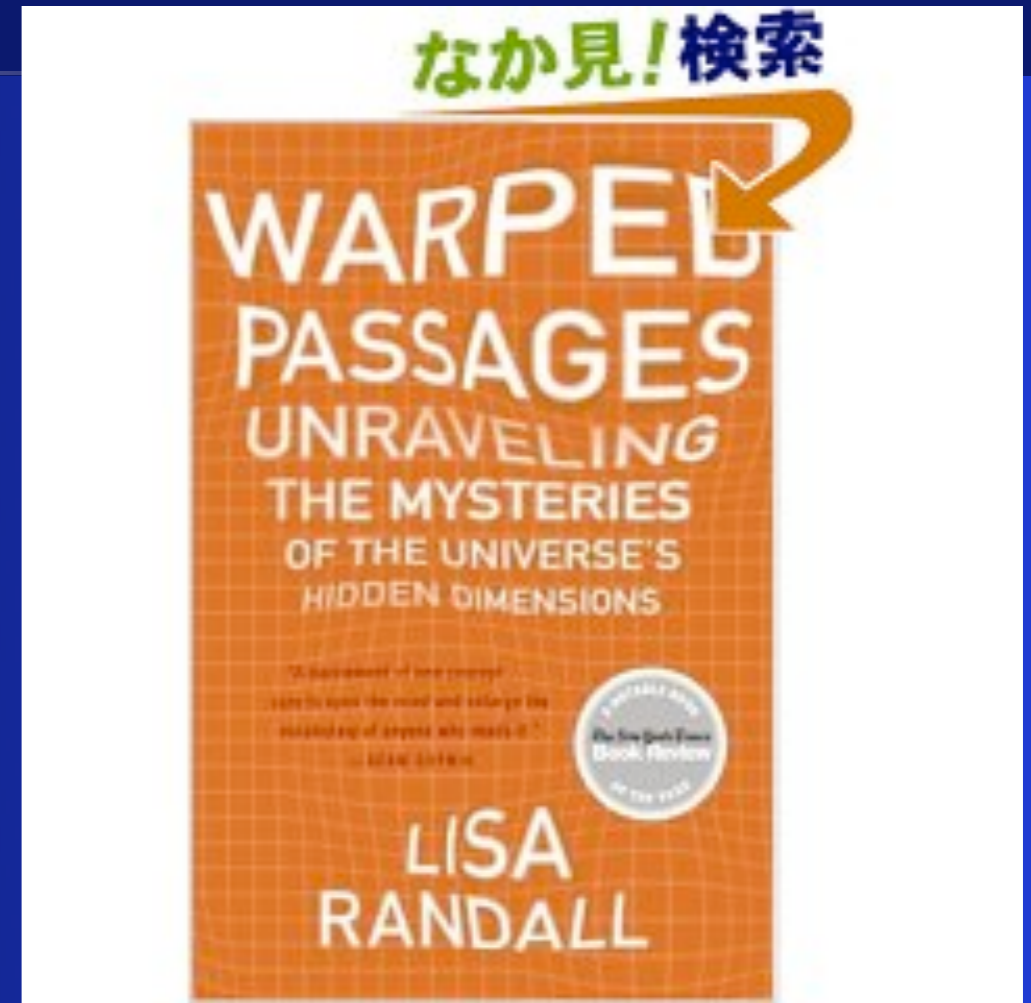
ワープする宇宙 5次元時空の謎を解く
 LISA RANDALL
 リサ・ランドール Lisa Randall
 向山信治 著 堀原通緒 訳

Warped Passages



NHK-BS特集
「未来への提言」に出演
 21世紀のキーパーソンが語る宇宙の姿とは?
 すぐそこにもうひとつの次元が存在する!
 2007年末始動予定のCERN実験により、彼女の理論が証明される!?

*フアン・ガルシア・ベリド、アンドリュウ・シャンブリン、ロベルト・エンパラン、ルース・グレゴリー、ステイヴ・ン・ホーキング、ゲリー・T・ホロヴィッツ、ネマニャ・カロパー、ロバート・C・マイヤーズ、ハーヴェイ・S・リオール、真貝寿明、白水徹也、トビー・ワイズマンなど。



*They include Juan Garcia-Bellido, Andrew Chamblin, Roberto Emparan, Ruth Gregory, Stephen Hawking, Gary T. Horowitz, Nemanja Kaloper, Robert C. Myers, Harvey S. Reall, Hisa-aki Shinkai, Tetsuya Shiromizu, and Toby Wiseman.

歴史は繰り返す and/or 学問は螺旋状に進む

ちょっと待った！

論文を書く練習としては、variationはあってもいいけど、...

それで研究として面白い？

Main Idea/Discovery

conjecture

counter-example

proof

analogy

formulation

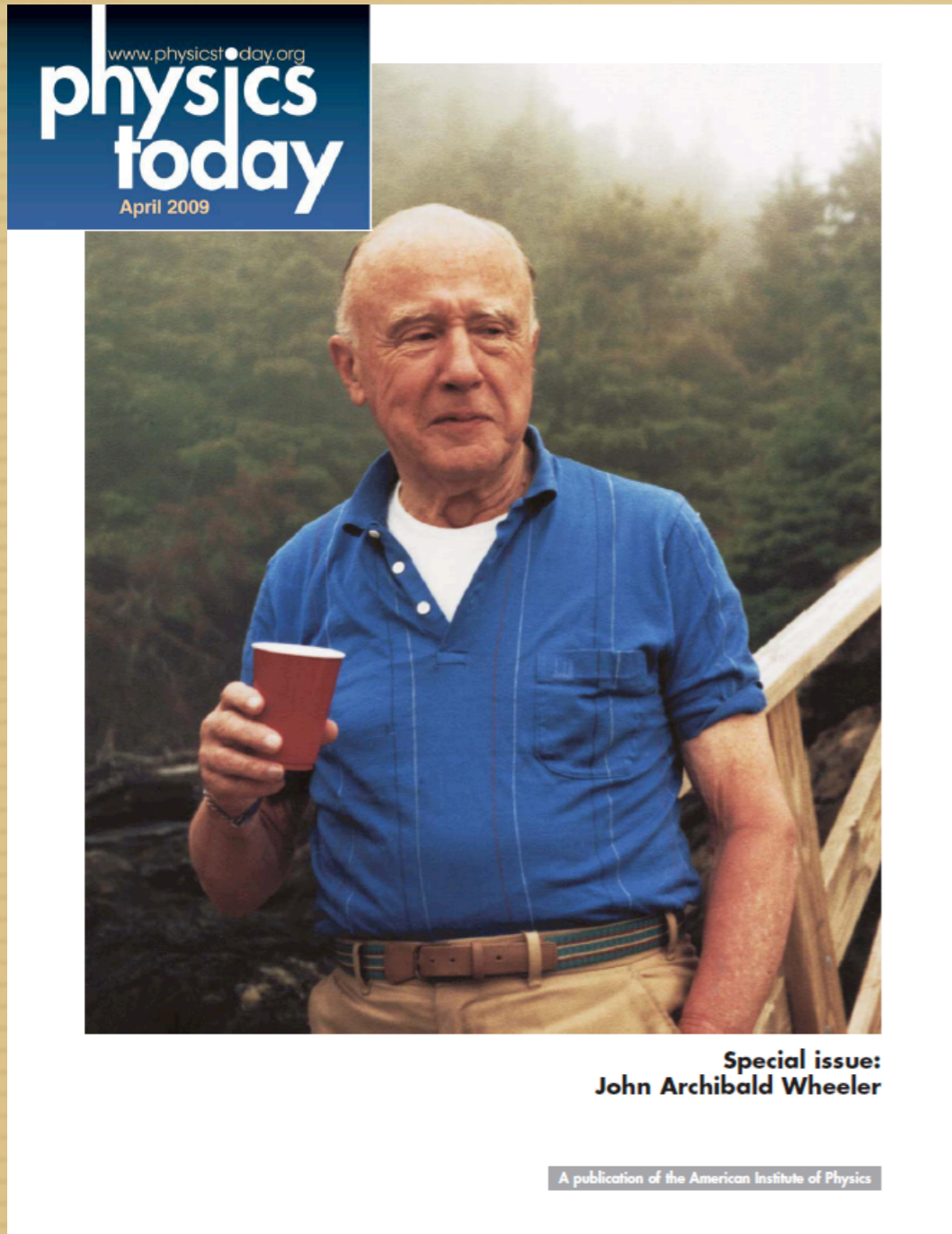
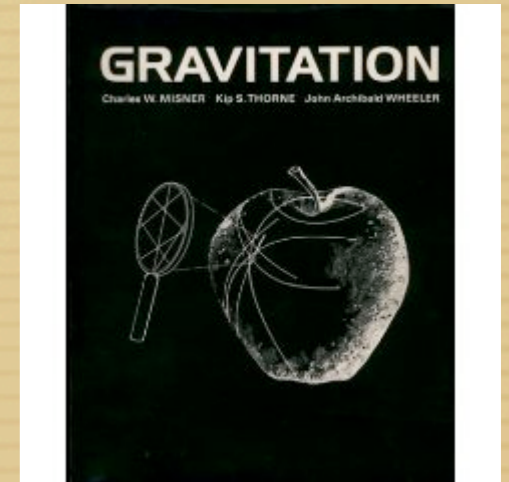
viewpoints

tools

models

examples

John A. Wheeler (July 9, 1911 – April 13, 2008)



Physics Today, 2009-4

Wheelerの育てた人材

Richard Feynman (PhD 1942)
Hugh Everett (PhD 1956)
Charles Misner (PhD 1957)
David Sharp (AB 1960)
Richard Lindquist (PhD 1962)
Kip Thorne (PhD 1965)
Robert Geroch (PhD 1967)
Yavuz Nutku (PhD 1969)
Wojciech Zurek (PhD 1979)
William Unruh (PhD 1971)
Demetrios Christodoulou (PhD 1971)
Robert Wald (PhD 1972)
Jacob Bekenstein (PhD 1972)
Warner A. Miller (PhD 1986)

.....

Mentoring at Princeton University 1938–78*				
Professor	PhD theses supervised	PhDs per year	Extra acknowledgments†	Senior theses supervised
John Wheeler	46	1.22	19	46
Thomas Carver	16	0.76	13	21
Robert Dicke	25	0.81	8	11
Val Fitch	15	0.71	5	5
Marvin Goldberger	19	0.95	10	4
Rubby Sherr	14	0.45	17	11
Sam Trieman	24	1.04	16	4
Arthur Wightman	24	0.93	14	11
Eugene Wigner	25	0.83	16	0

* Physics PhD and senior theses supervised during 1938–78 at Princeton by the nine professors who supervised the most doctoral theses during that period.
† Acknowledgments in PhD theses thanking a professor other than the adviser of record.

50-2 April 2009 Physics Today 55

Physics Today, 2009-4

Wheelerの創った言葉

Box 1. Wheeler coinages

John Wheeler believed that the names given to concepts or to descriptions of an idea strongly influence how we think about concepts and ideas, even how we work on them and build on them. In short, the word inspires the deed. Accordingly, Wheeler spent many hours (often soaking in a warm bathtub) searching for the most apt terms. Here, in rough chronological order, are some of his coinages:

S-Matrix the scattering operator in quantum mechanics

Sum over histories Richard Feynman's path-integral method

Moderator the material that slows neutrons in a nuclear reactor

Stellarator a plasma magnetic confinement device

Planck length, Planck time the scales at which quantum gravity dominates

Geon an object made from waves bound together by their energy's gravity

Mass without mass gravitating object containing no massive particles

Charge without charge wormholes as sources and sinks of electric field lines

Wormhole a topological "handle" in the geometry of curved space

Quantum foam quantum fluctuations in the geometry of spacetime

Black hole* the object formed by implosion of a sufficiently massive star

A black hole has no hair a classical black hole's properties are determined by only its mass, spin angular momentum, and charge

Space tells matter how to move and matter tells space how to curve the summarized content of general relativity

Law without law** emergence of law from random processes

It from bit** a physical world built of information units

Mutability** susceptibility of physical law to evolution and change

Observer-participancy** influence of the observer on reality

The universe as a self-excited circuit** shaping the past from the present

A single quantum cannot be cloned a theorem that puts a limit on quantum amplifiers

* The phrase "black hole" appears to have been used first, for the object formed by stellar implosion, by one or more non-physicists shortly after the 1963 discovery of quasars, but it did not stick. Wheeler recalls adopting it in 1968 after somebody at a lecture he was giving shouted it out as a suggestion, and in his hands it was quickly adopted worldwide.

**An influential, speculative idea due to Wheeler.

S-Matrix,
Sum over histories,
Planck length,
Planck time,
Wormhole,
Black Hole,
Geon,
Quantum foam,
A BH has no hair,
law without law,
it from bit, ...

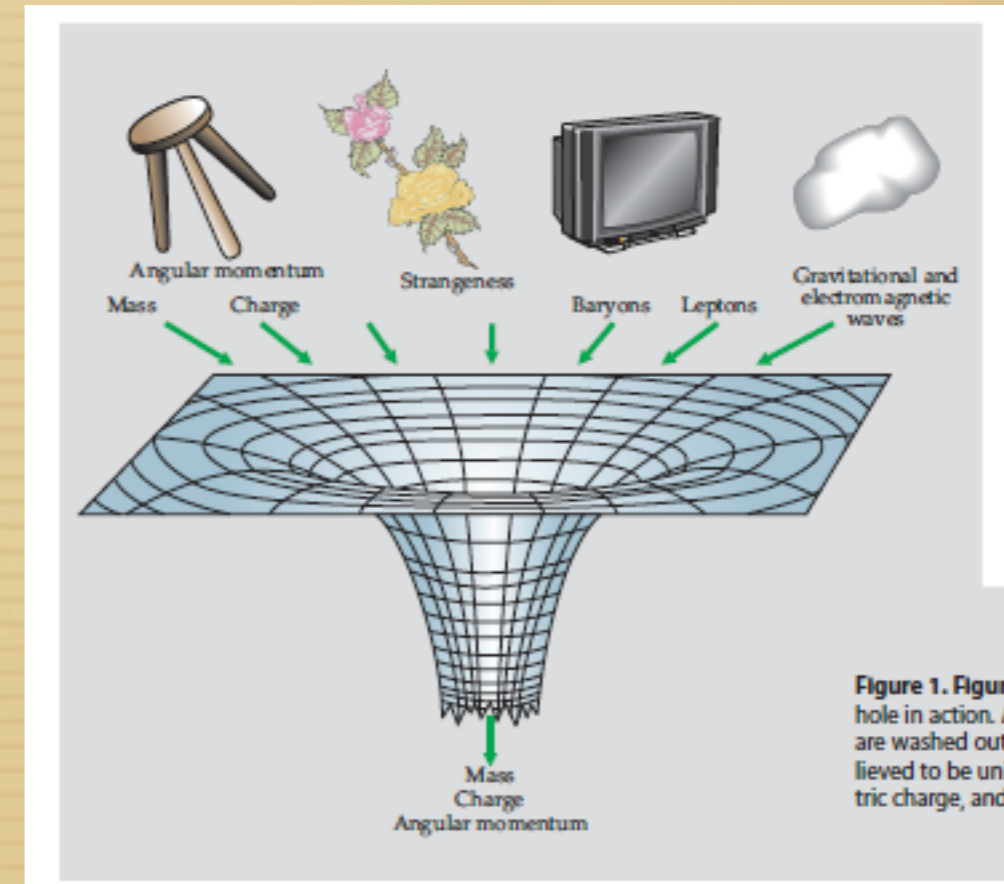


Figure 1. Figure hole in action. All are washed out lieved to be uni tric charge, and

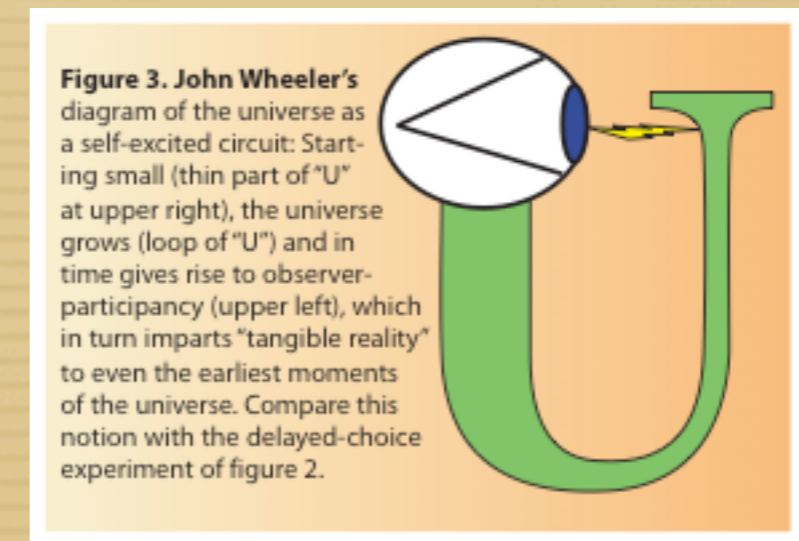


Figure 3. John Wheeler's diagram of the universe as a self-excited circuit: Starting small (thin part of "U" at upper right), the universe grows (loop of "U") and in time gives rise to observer-participancy (upper left), which in turn imparts "tangible reality" to even the earliest moments of the universe. Compare this notion with the delayed-choice experiment of figure 2.

Physics Today, 2009-4

歴史は繰り返す and/or 学問は螺旋状に進む

ちょっと待った！

論文を書く練習としては、variationはあってもいいけど、...

それで研究として面白い？

練習を終えたら、本質的な研究を目指そう！

裸の特異点と宇宙検閲官仮説

naked singularity vs cosmic censorship conjecture

弱い宇宙検閲仮説 R. Penrose (1969)

「漸近的に平坦な時空で、物理的に適当な初期条件から出発し、物理的に適当な物質および輻射の重力崩壊によって発生するすべての特異点は、ブラックホールの中に隠され、遠方の観測者はそれを見ることができない。」

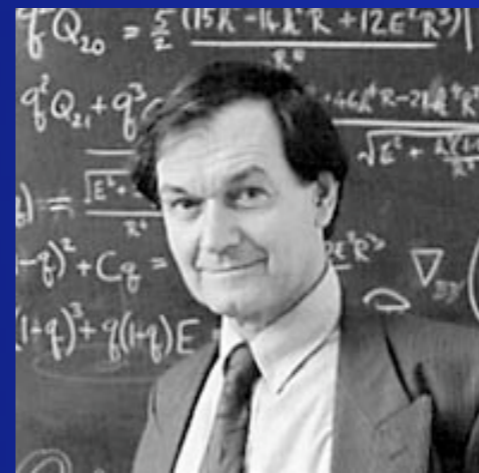
「裸の特異点は、見えてはならない」

強い宇宙検閲仮説 R. Penrose (1979)

「物理的にもっともらしいすべての時空には、初期特異点以外に観測可能な特異点は存在しない。」

「特異点は、遠方の観測者のみならず、ブラックホールに落ちた観測者からも、見えてはならない」

「裸の特異点は、存在しない」



ホーキングとソーンの賭け

Whereas Stephen W. Hawking firmly believes that naked singularities are an anathema and should be prohibited by the laws of classical physics,

And whereas John Preskill and Kip Thorne regard naked singularities as quantum gravitational objects that might exist unclothed by horizons, for all the Universe to see,

Therefore Hawking offers, and Preskill/Thorne accept, a wager with odds of 100 pounds sterling to 50 pounds sterling, that when any form of classical matter or field that is incapable of becoming singular in flat spacetime is coupled to general relativity via the classical Einstein equations, the result can never be a naked singularity.

The loser will reward the winner with clothing to cover the winner's nakedness. The clothing is to be embroidered with a suitable concessionary message.



John P. Preskill Kip S. Thorne

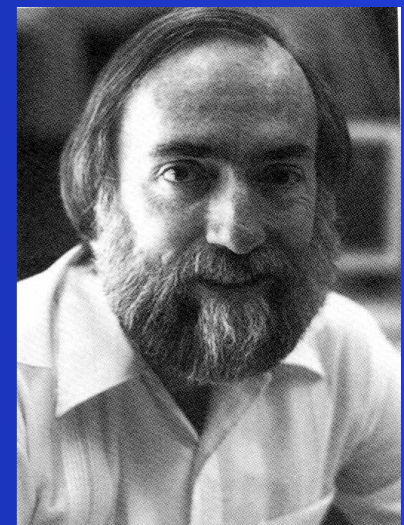
Stephen W. Hawking John P. Preskill & Kip S. Thorne
Pasadena, California, 24 September 1991

ホーキング



「裸の特異点は物理法則によって
禁止されている」

ソーン, プレスキル



「あり得る」

敗者は裸体を覆う着物を勝者に
与えること

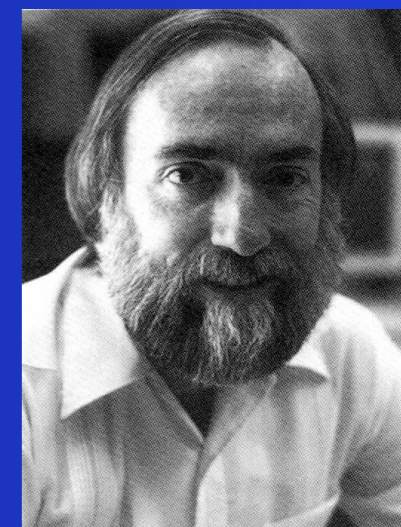
1991年9月24日

ホーキングとソーンの賭け 2



ホーキング

「一般的な初期条件では、裸の特異点は発生しない」



ソーン, プレスキル

「あり得る」

敗者は裸体を覆う着物を勝者に与え、その着物には敗北を認める文章を入れること。

Whereas Stephen W. Hawking (having lost a previous bet on this subject by not demanding genericity) still firmly believes that naked singularities are an anathema and should be prohibited by the laws of classical physics,

And whereas John Preskill and Kip Thorne (having won the previous bet) still regard naked singularities as quantum gravitational objects that might exist, unclothed by horizons, for all the Universe to see,

Therefore Hawking offers, and Preskill/Thorne accept, a wager that

When any form of classical matter or field that is incapable of becoming singular in flat spacetime is coupled to general relativity via the classical Einstein equations, then

A dynamical evolution from generic initial conditions (i.e., from an open set of initial data) can never produce a naked singularity (a past-incomplete null geodesic from \mathcal{I}_+).

The loser will reward the winner with clothing to cover the winner's nakedness. The clothing is to be embroidered with a suitable, truly concessionary message.

Stephen W. Hawking

John P. Preskill & Kip S. Thorne

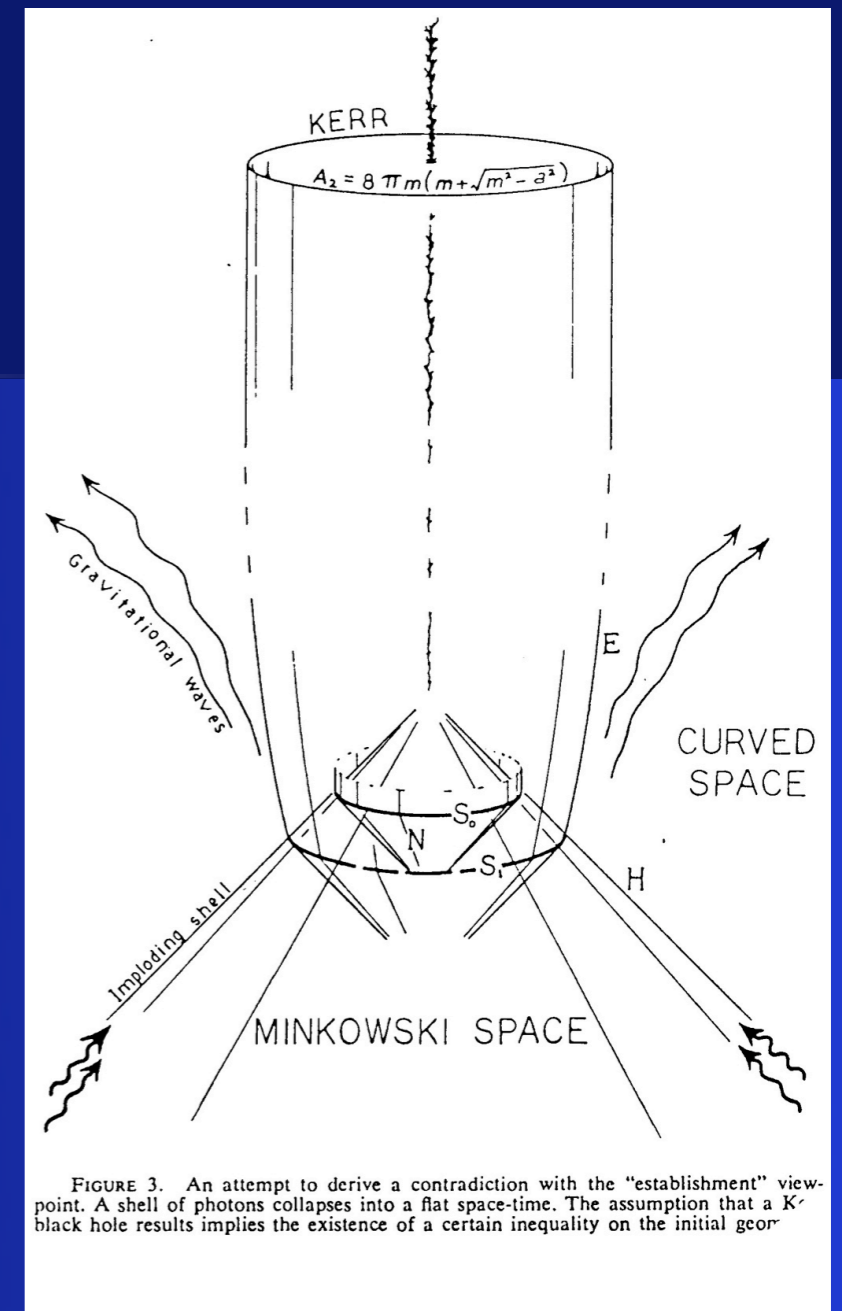
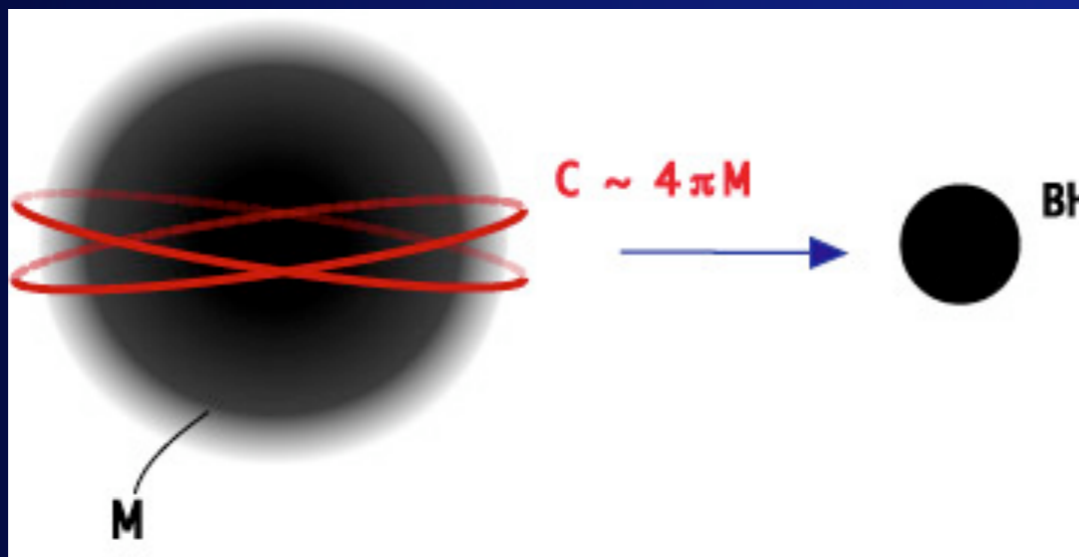
Pasadena, California, 5 February 1997

1997年2月5日

フープ仮説

hoop conjecture

K. Thorne (1972)



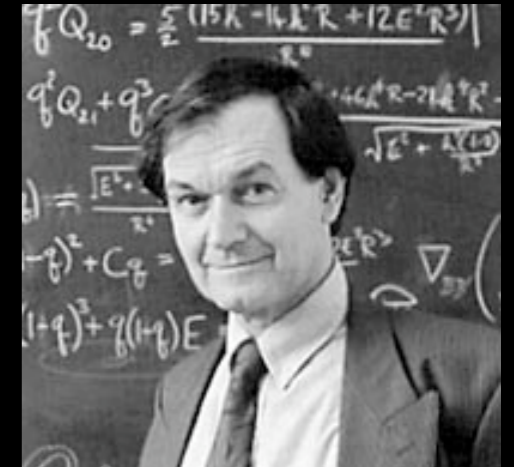
R. Penrose (1969)

Penrose inequality

$$A \leq 16\pi m^2$$

Some Unsolved Problem in Classical GR

R. Penrose,
in “Seminar on Differential Geometry”
(Princeton U Press, 1982)



1. Find a suitable quasi-local definition of energy-momentum in GR.
2. Find a suitable quasi-local definition of angular-momentum in GR.
3. Find an asymptotically simple Ricci-flat space-time which is not flat -- or at least prove that such space-times exist.
4. Are there restrictions on k for non-stationary k -asymptotically simple space-times, with non-zero mass, which are vacuum near $\mathcal{I}(\text{Scri})$?
5. Find conditions on the Ricci tensor $R_{\{ab\}}$ throughout M which ensure that the generators of Scri are infinitely long.
6. Show that if a cut C of Scri-plus [or Scri-minus] can be spanned by a spacelike hypersurface along which an appropriate energy condition holds, then the Bondi-Sachs mass defined at C is non-negative.
7. Does the Bondi-Sachs mass defined on cuts of Scri-plus have a well-defined limit as the cuts recede into the past along Scri-plus , this limit agreeing with the mass defined at spacelike infinity?

8. Show that if the dominant energy condition holds, then the Bondi-Sachs energy-momentum, and also the energy-momentum defined at spacelike infinity, are future-timelike, the space-time being assumed not to be flat everywhere in the region of an appropriate spacelike hypersurface.
9. In an asymptotically simple space-time which is vacuum near \mathcal{I} (Scri) and for which outgoing radiation is present and falls off suitably near i^0 and i^+ , is it necessarily the case that i^0 and i^+ are non-trivially related? (At least, are there some examples in which i^0 and i^+ are non-trivially related?)
10. Find a good definition of angular momentum for asymptotically simple space-times.
11. If there is no incoming radiation and no outgoing radiation and the space-time M is vacuum near Scri and (in some suitable sense) near i^0 , is M necessarily stationary near Scri?
12. **Is Cosmic Censorship a valid principle in classical GR?**
13. Let S be a spacelike hypersurface in M which is compact with boundary, the boundary consisting of a cut C of Scri-plus together with a trapped surface T . Let m be the Bondi-Sachs mass evaluated at C and let A be the area of T . Show that

$$A \leq 16\pi m^2$$

provided that the dominant energy condition holds throughout some neighbourhood of S .

14. Show that there is no vacuum equilibrium configuration involving more than one black hole.

《海外研究室事情(16)》

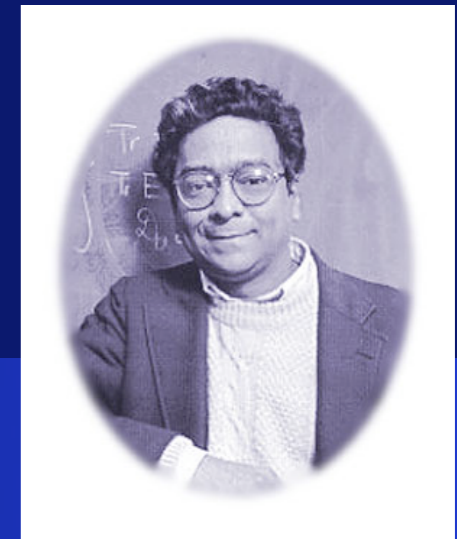
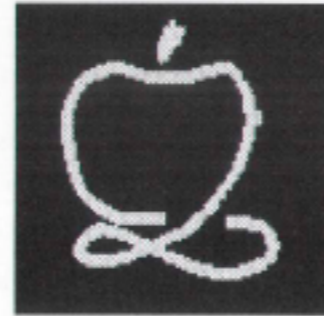
Center for Gravitational Physics and Geometry, The Pennsylvania State University

ペンシルバニア州立大学 重力物理と幾何学センター

<http://gravity.phys.psu.edu/>

日本学術振興会の海外特別研究員として、99年夏にここ、アメリカ・ペンシルバニア州ステートカレッジに移り、2年間は居座るつもりであったが、縁があって日本に帰国することが決まりあ

CGPGの共通ロゴ リンゴとGとQの字の重ね合わせ。Pullin氏作。グループに長期滞在するとロゴ入りのマグカップがもらえる(かもしれない)。



「天文月報」2001年4月号



Institute for Gravitation and the Cosmos

About Us

People

Research

Visitors

Events

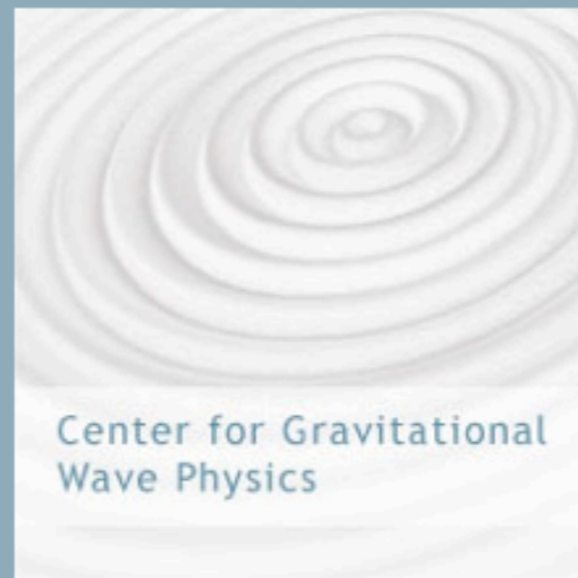
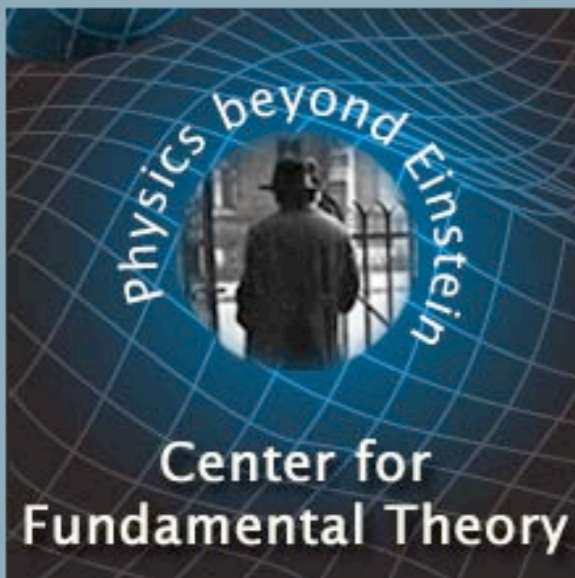
Outreach

News

Opportunities

Local

Links



The Institute for Gravitation and the Cosmos is a multidisciplinary institute of Penn State researchers dedicated to the study of the most fundamental structure and constituents of the Universe.

<http://www.gravity.psu.edu/>

研究テーマ探し

そんな方法論があったら、私が知りたい。

「論文を書く練習」ができれば、
自分でテーマを創ろう！

賞味期限の長い研究成果を目指そう
そして、楽しみながら研究を