

## 高部英明教授早期退職最終講義

# 大学人35年を振り返り 未来を考える

日時: 2015年8月5日(水)午後2時~3時30分  
場所: レーザーエネルギー学研究センター  
研究棟(I棟)4階・大ホール

## はじめに: 科学者として人間として

- 正直こそ最善の策。
- 公開制・透明性なくして科学の進歩はない。
- 真実に迫れ。真実は矛盾する複数の事実よりなる。
- 研究方針は経験より未来志向。論理的議論を優先せよ
- 「去り際の美学」を常に意識せよ。未練は持つな。

2

## 1. 学生時代

1. 1971年入学。大学時代は多読に時代。唯物論哲学なども
2. 大学3年生、物理に目覚める、山中先生か物性が、スケールの大きさ
3. 4年の卒業研究は名大プラズマ物理研究所(山中、水井)
4. M1で阪大に戻る。三間先生が広大から助手で着任。理論の院生第1号
5. M1後半から1年半、名大・谷内研究室(谷内、西原、大沢、見玉)
6. 博士で阪大へ
7. 研究。1「イオンは乱流による熱抑制」、2。「プラズマの自己相似解」、3。「レーリー・テラー不安定性解析」
8. 博士2年(25歳)、結婚、長居にすむ。一度も給料手にしたことがない。
9. 勉強の日々であった。数学10シリーズ読破
10. 1980年3月末: 博士の学位取得、論文数でもめる。山中先生のおかげ。

3

## 大学で学ぶこと(自分探しの旅)

- 大学3年間は「自分探しの旅」だった。
- 受験からの解放、自由な時間
- テレビもラジオも持たず、安下宿で読書の日々



4



## 大学で学んだこと

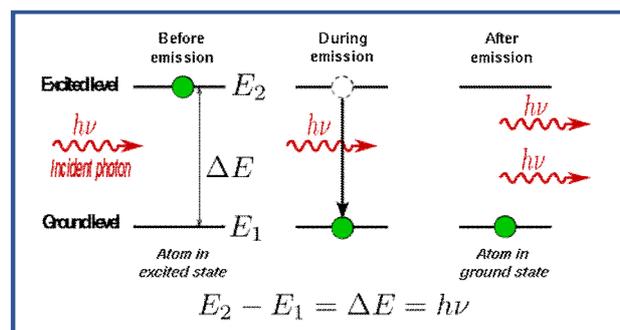
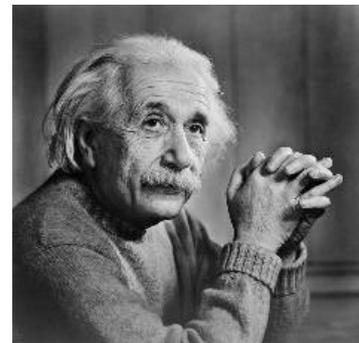
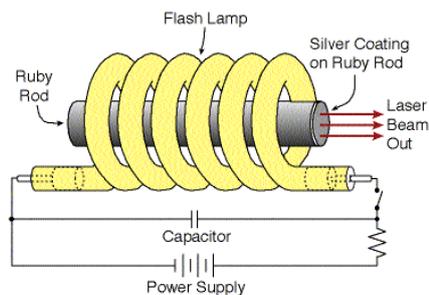
- 大学は「自分探し」の時間であった。がむしゃらにあらゆる本を読んだ
- 講義では学問という分厚い本の「目次」を教えてください、といただき、「索引の引き方」を教えてくださいといただいた
- むしろ、「教養」としての人文・社会・哲学・雑学が大変有益であった(今、役に立っている)

7

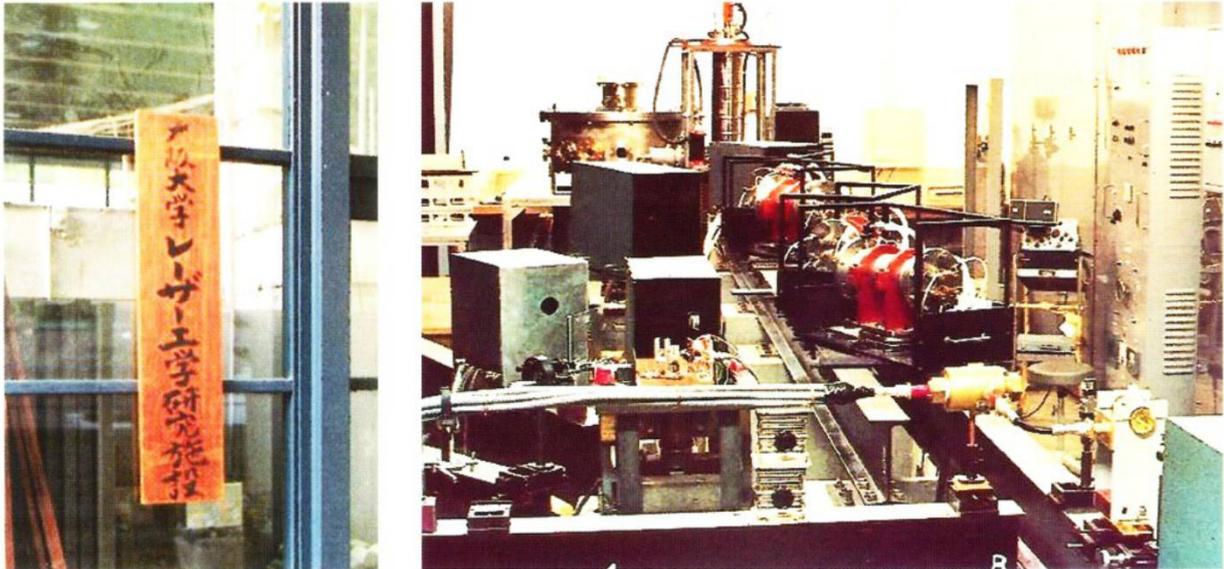
## レーザー誕生から55年

原理はEinsteinの誘導放射(1916年)  
44年後には実用化

Maiman (1960)



## 高部の前史： 山中研究室レーザー核融合研究を開始していた



▲レーザー工学研究施設開設 (1972) ▲ガラスレーザー「激光I号」完成 (1970) 1ビーム、10J/200ps

NATURE VOL. 239 SEPTEMBER 15 1972

139

### レーザー爆縮核融合の概念が機密解除される

## Laser Compression of Matter to Super-High Densities: Thermonuclear (CTR) Applications

JOHN NUCKOLLS, LOWELL WOOD,  
ALBERT THIESSEN & GEORGE ZIMMERMAN

University of California Lawrence Livermore Laboratory



Hydrogen may be compressed to more than 10,000 times liquid density by an implosion system energized by a high energy laser. This scheme makes possible efficient thermonuclear burn of small pellets of heavy hydrogen isotopes, and makes feasible fusion power reactors using practical lasers.



吉川庄一



飯吉厚夫

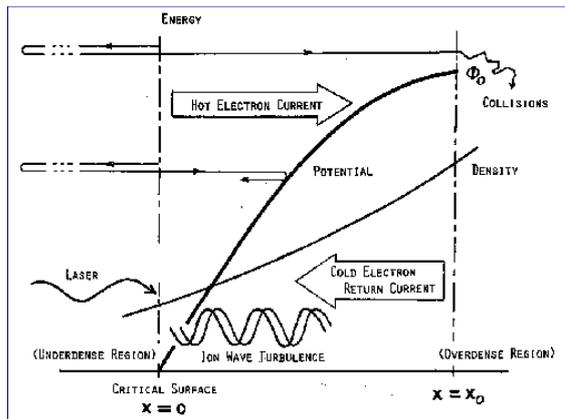


山中千代衛



定価 1500円  
3042-218071-1371

## イオン波乱流による電子熱輸送の異常抑制



三間 圀興

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} - \frac{e}{m} \mathbf{E} \cdot \frac{\partial}{\partial \mathbf{v}}\right) f_c$$

$$= -\pi(e/m)^2 \Sigma_{\mathbf{k}} \mathbf{k} \cdot \frac{\partial}{\partial \mathbf{v}} I_{\mathbf{k}} \delta(\omega_{\mathbf{k}} - \mathbf{k} \cdot \mathbf{v}) \mathbf{k} \cdot \frac{\partial}{\partial \mathbf{v}} f_e, \quad (12)$$

$$v_c^* \sim 20 \frac{(\gamma/\omega_p)^4}{(k/k_s)^3 (T_h/T_e)^2} \frac{v_e}{c} \omega_p,$$



1978年10月、結婚(25歳)  
博士課程2年生

## 2. ドイツ時代(1980.9-1981.9)

1. S. Witkovski, Peter Mulser, Jurgen MtV.
2. Family Fischer: 親切、心の豊かさ、文化
3. IPP, Laser Research Group
4. 論文、Linear Conversion, B. Kruer、長い論文
5. 我が友(後藤、河野)
6. Sigel, Eidman, Wite, Amiranof
7. BBC English (Chap 1-100)
8. 13カ国に旅行に出かけた。



寒い季節はオペラのシーズン。一冬で30以上のプログラムを鑑賞した。



フィッシャー家は私たちがベンツに乗せて観光地だけでなく、別荘で山登りなど、数え切れない企画をしてくれた。(別荘から帰宅のショット)



### 3. アリゾナ時代(1981.10-1982.9)

1. Half-time job(6ヶ月)からFull time Jobへ
2. Dick Morse: 3回目で理解してもらう。
3. Pat McKenty: LLE, UofR 愛称「**Aki**」
4. REDUCE (U of Utha) 今日のMathematica原型
5. Eigenvalue Problem (1 min.)
6. 「高部の公式(Takabe formula)」への道
7. 3ヶ月でMorseに泣きつく。
8. 週3回の英語授業(English Composition)
9. 大自然、新大陸、7州

米国滞在時代： 1981年10月～1982年9月



米国では後世に残るいい仕事を開始できた。ボス・R. L. Morseのお陰である。

## Hydrodynamic Instability

### Self-consistent eigenvalue analysis of Rayleigh–Taylor instability in an ablating plasma

H. Takabe,<sup>a)</sup> L. Montierth, and R. L. Morse

*Department of Nuclear and Energy Engineering, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721*

(Received 13 September 1982; accepted 8 April 1983)

A mathematical method for a fully self-consistent treatment of the Rayleigh–Taylor instability is developed by solving the linearized fluid equations as an eigenvalue problem. The method is applied to analyze the instability in stationary ablating plasmas with strong inhomogeneity. A reduction of growth rate compared to the classical value is found. The importance of a self-consistent treatment of the Rayleigh–Taylor instability is shown by comparing the result with the growth rate estimated by approximate theoretical arguments.

•This work was done at University of Arizona, AZ, USA

•Supervisor: R. L. Morse

•Collaborator: L. Montierth

•Supported by P. McKenty

(November, 1981 – September, 1982)

H. Takabe et al, Physics of Fluids, 1983

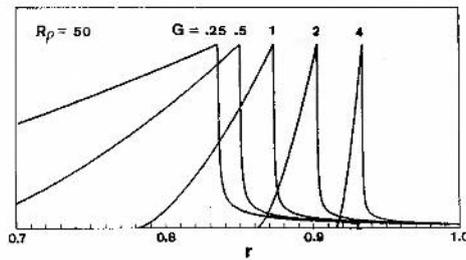
### Equation for Linear Perturbations

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho_1 + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} [r^2 (\rho_1 V_0 + \rho_0 V_1)] + \rho_0 D_1 = 0, \quad (12)$$

$$\rho_0 \left( \frac{\partial}{\partial t} V_1 + V_0 \frac{\partial}{\partial r} V_1 + V_1 \frac{\partial}{\partial r} V_0 \right) = - \frac{\partial}{\partial r} P_1 + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P_0}{\partial r} \rho_1, \quad (13)$$

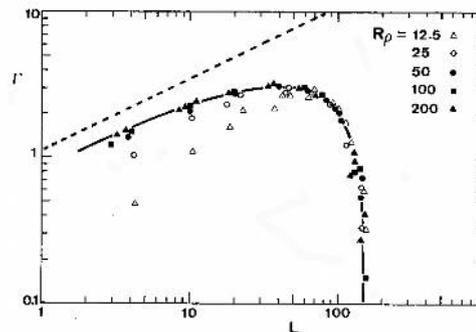
$$\rho_0 \left( \frac{\partial}{\partial t} D_1 + V_0 \frac{\partial}{\partial r} D_1 + 2 \frac{V_0}{r} D_1 \right) = \frac{l(l+1)}{r^2} P_1, \quad (14)$$

$$\begin{aligned} & \frac{3}{2} \rho_0 \left( \frac{\partial}{\partial t} T_1 + V_0 \frac{\partial}{\partial r} T_1 + V_1 \frac{\partial}{\partial r} T_0 + \frac{V_0}{\rho_0} \frac{\partial T_0}{\partial r} \rho_1 \right) \\ &= - \frac{P_0}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 V_1) - \frac{P_1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 V_0) - P_0 D_1 \\ &+ \frac{K_0}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r^2 \left( T_0^{5/2} \frac{\partial T_1}{\partial r} + \frac{5}{2} T_0^{3/2} \frac{\partial T_0}{\partial r} T_1 \right) \right] \\ &- K_0 \frac{l(l+1)}{r^2} T_0^{5/2} T_1, \end{aligned} \quad (15)$$

Density Profiles (0<sup>th</sup> solution)

Universal Law was derived with a lot of eigen value data obtained by solving 5<sup>th</sup> order eigen value problem

Normalized Dispersion Relation gave us the universal formula.



23

### Self-consistent growth rate of the Rayleigh-Taylor instability in an ablatively accelerating plasma

H. Takabe and K. Mima  
Institute of Laser Engineering, Osaka University, Suita, Osaka 565, Japan

L. Montierth and R. L. Morse  
Department of Nuclear and Energy Engineering, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721

[Received 30 April 1984; accepted 3 September 1985]

The linear stability of an ablating plasma is investigated as an eigenvalue problem by assuming the plasma to be at the stationary state. For various structures of the ablating plasma, the growth rate is found to be expressed well in the form  $\gamma = \alpha \sqrt{kg} - \beta kv_a$ , where  $\alpha = 0.9$ ,  $\beta \approx 3-4$ , and  $v_a$  is the flow velocity across the ablation front, and is found to agree well with recent two-dimensional simulations in a classical transport regime. Short-wavelength lasers inducing enhanced mass ablation are suggested to be advantageous to stable implosion because of the ablative stabilization.

H. Takabe et al, Physics of Fluids, 1985

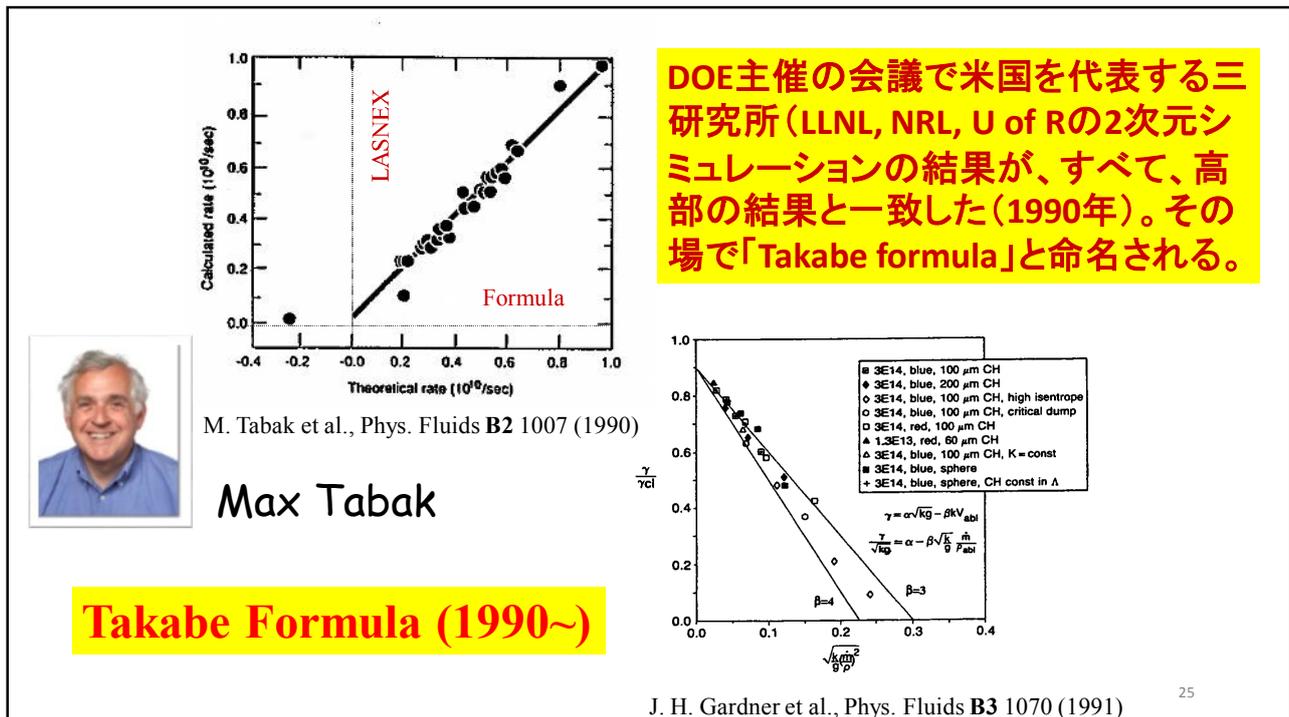
We Proposed Fitting Formula

$$\gamma = \alpha \sqrt{kg} - \beta kv_a$$

ISI Citation Data: **177** until 2002

**526** at 2015.7.26

24



その後、「Takabe formula」は実験に置いても正しいことが検証されていく。

「予言」は理論家の最高の喜び。それが検証された。

#### •In-direct Drive (X-ray drive)

- B. Remington et al., Phys. Plasmas **2**, 241 (1995)
- K. S. Budile et al., Phys. Rev. Lett. **76**, 4536 (1996)

#### •Direct Drive

- K. Shigemori et al., Phys. Rev. Lett. **78**, 250 (1997)
- H. Azechi et al., Phys. Plasmas **4**, 4079 (1997)

## 不毛な論争にけりをつけたい(最終抗議)

H. Azechi et al., Phys. Rev. Lett. **98**, 045002 (2007). 「高部の公式」の国際的抹殺。米国人の名前もつけろという。外部の研究者は戸惑う。

**S. E. Bodner, Phys. Rev. Lett. 33, 761 (1974).**

LD-不安定 ランダウ・リフシッツ、「流体力学2」(東京図書、1971) 第14章

$$\left(\frac{1}{u_2} + \frac{1}{u_1}\right)\gamma^2 + 2k\gamma + k^2(u_1 - u_2) + gk\left(\frac{1}{u_1} - \frac{1}{u_2}\right) = 0$$

$$\gamma = k(u_1 u_2)^{1/2}$$

$$\gamma = \left(k^2 u_1 u_2 + \alpha_A k g\right)^{1/2} - k u_1$$

$$\gamma = \alpha \sqrt{k g} - \beta k v_a$$

27

## 4. 激光XII号核融合の時代(1982年～1990年)

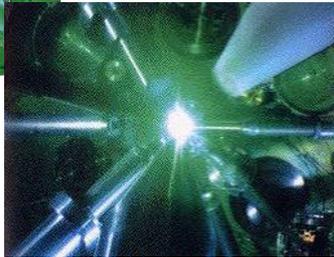
- 1983年12月8日(X-day)。
- 1985年、「高部の公式」論文:被引用回数:(526回)
- ILESTA-code作成開始(矢部さんとの良き意地の張り合い)
- 1986年、中性子ダービーの時代
- 1988年、100以上のデータを解析し、結論を得る。
- 1998年中性子実験データ解析論文(引用回数:199件)
- 最終爆縮の不安定が避けがたいことの証明
- 米国3研究所会議(DOE主催)「Takabe formula」で合意(1990年)

28

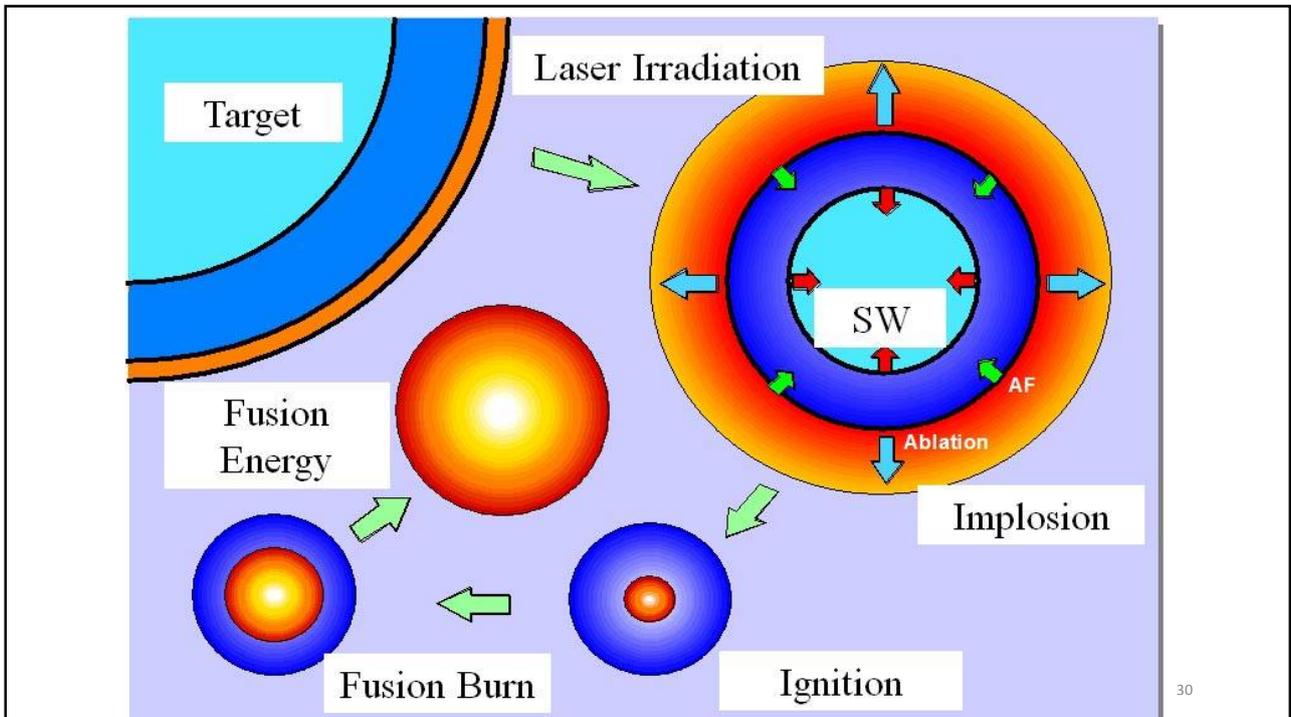
# 帰国(1982年)、目の前には激光XII号が

大阪大学レーザー研

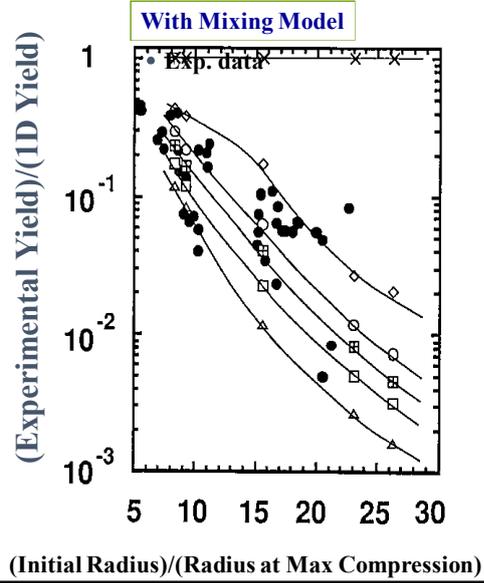
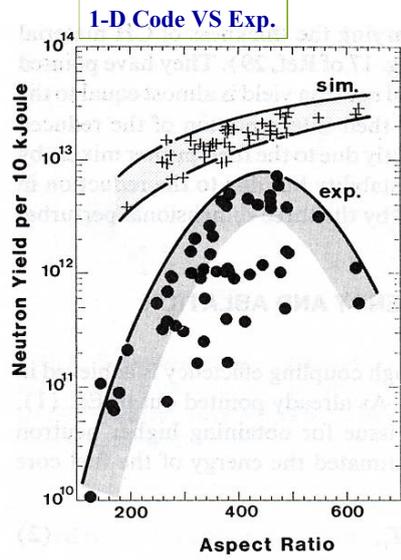
核融合研究  
本番



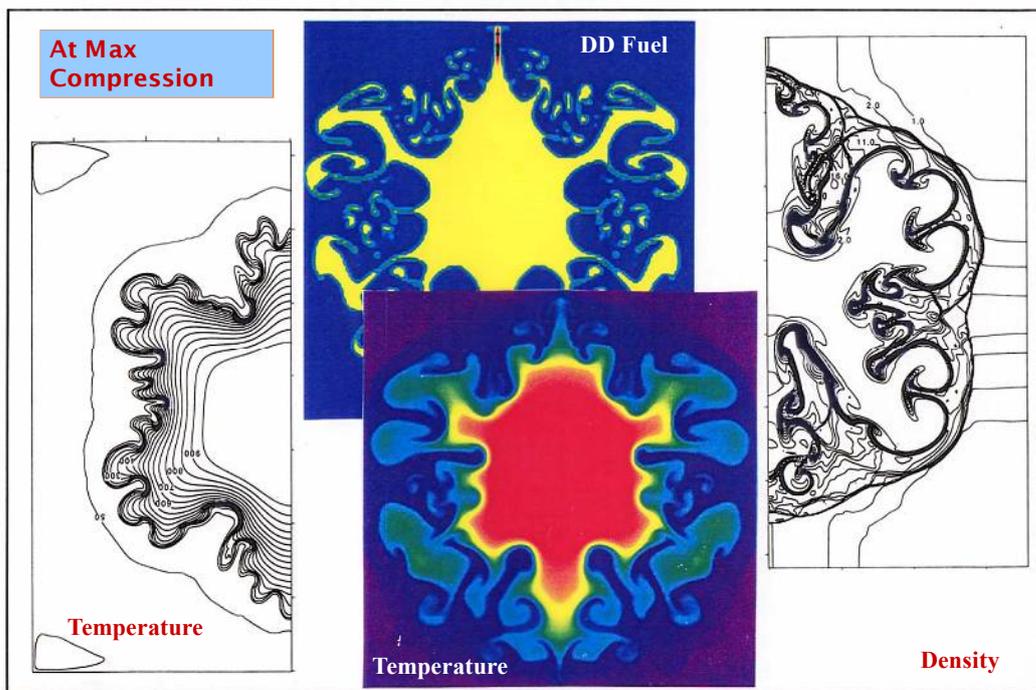
激光XII号レーザー装置



## 爆縮の最終段階で爆発的に流体不安定が成長



31



32



## 5. 実験室宇宙物理の黎明期(1987年～1995年)

1. 超新星1987Aの爆発(1987年2月23日)
2. 山中先生退官(1987年3月)
3. 新生ロシア1番乗り(1992年1月)
4. 「慣性核融合」＝「核兵器研究」。核融合から新たな研究へ
5. 1992年3月：日米WS幹事長
6. 新学術「実験室宇宙物理学」提案(1993)
7. 近藤洋君逝去(1994年4月24日) 大阪大学近藤賞
8. Bruce Remington実験開始(1994年)

## レーザー核融合も 宇宙も物理は重なる



## Vlasov Maxwell Equations

Faraday's Law  $\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$

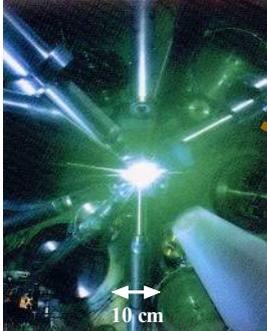
Ampere's Law  $\frac{1}{\mu_0} \nabla \times \mathbf{B} = \mathbf{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$

Poisson Equation  $\epsilon_0 \nabla \cdot \mathbf{E} = \rho$

Absence of Magnetic Monopole  $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$

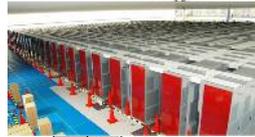
Vlasov Equation  $\frac{\partial f}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \frac{\partial f}{\partial \mathbf{r}} + \frac{\mathbf{F}}{m} \cdot \frac{\partial f}{\partial \mathbf{v}} = \left( \frac{df}{dt} \right)_{\text{coll}}$

## 実験室宇宙物理学とは



レーザー核融合

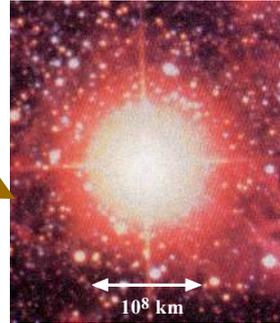
10 cm



スパコン

 $(\times 10^{14})$ 

時間・空間

超新星爆発<sup>37</sup>野本憲一(超新星理論)<sup>37</sup>

1. 宇宙のコードをテストし改良・検証する
2. 予想しなかった新しい発見をする
3. 未観測な現象を预言をする
4. 学術(プラズマ物理学)をより豊にする

相似変換、スケール則

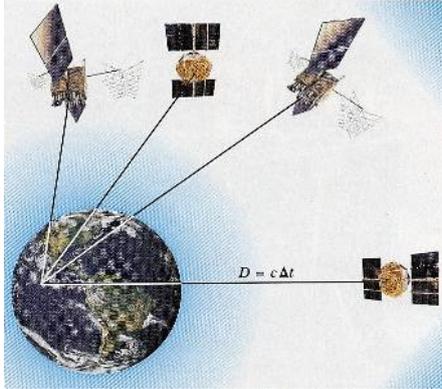
実験室宇宙物理の将来性を最初に理解し、評価し、  
実験を始めた我が盟友・ブルース(米、LLNL)



Bruce Remington一家と  
1994年、京都にて

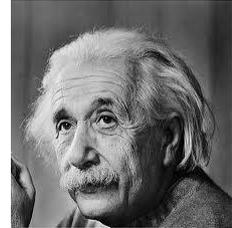
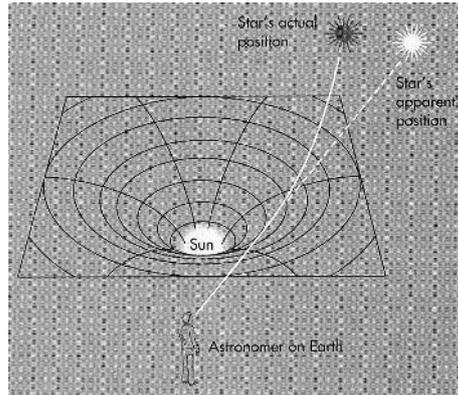
**「基礎科学研究」は、優秀な若者を引きつけ、知的好奇心を満たし、見えない未来の社会への貢献を約束する**

**GPS(Global Positioning System)**



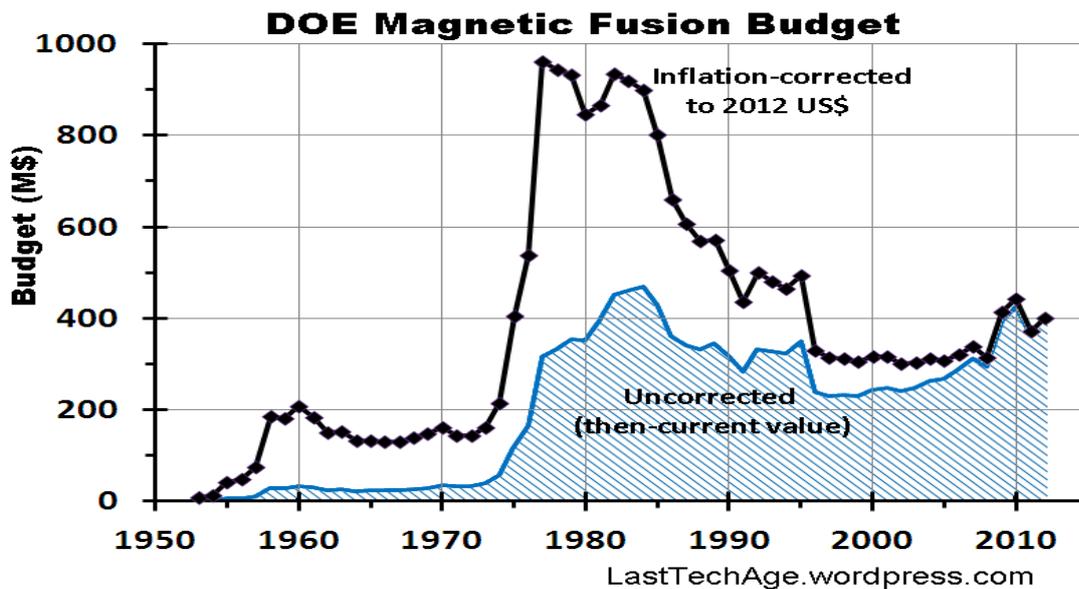
24個の衛星、常時地上から4つは見える  
1mの精度を出すには互いの時刻精度が10の<sup>-13</sup>の精度必要

1915年 → 1980年頃



相対論的効果による時刻のずれは10の<sup>-10</sup>乗程度  
この補正をしないと誤差は1日で11kmにもなる

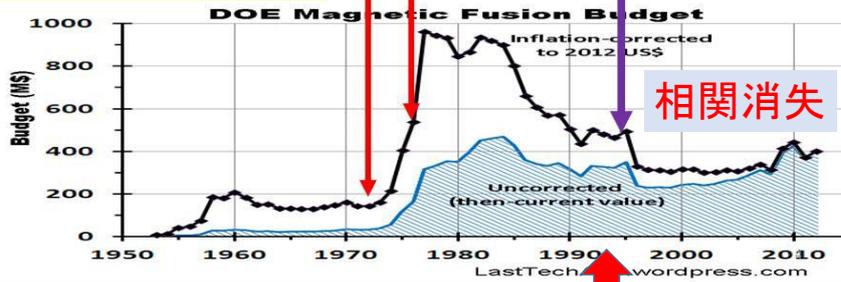
**米国磁場核融合研究予算の年推移。なぜ、急激に2回も増え、急激に減少したのか。歴史的考察が必要。**



原油価格と米国核融合予算の相関と非相関(1990年以降は相関は失われている。理由は「核融合への失望、自然エネルギーへのシフト等」



磁場核融合予算の年推移



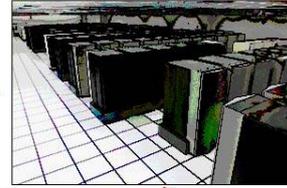
「実験室宇宙物理学」の提唱

新生ロシア一番乗り(チェリヤビンスク70)1992年1月  
旧ソ連核兵器研究所(所員2万人、核弾頭設計者2000人)



私以外は全て核兵器研究所の研究者

この頃、レーザー核融合研究が米国、仏国、中国、ロシアなど核保有国では「核兵器の維持管理」の軍事戦略で予算化されていることの実事が明確になる。(1996年CTBT批准)



CTBT: 1996年  
(包括的核実験禁止条約)



Above Ground Experiments



Underground  
test data

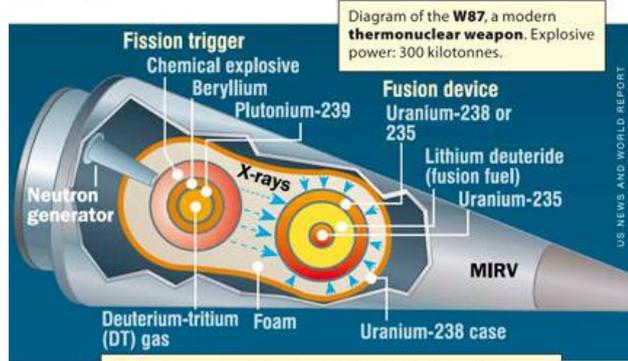
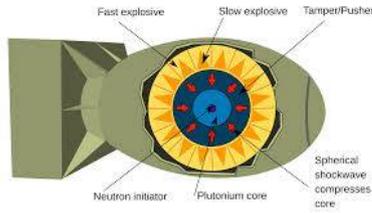
by D. Post (LANL)

43

NIF will be the  
cornerstone experimental  
facility for Stockpile  
Stewardship

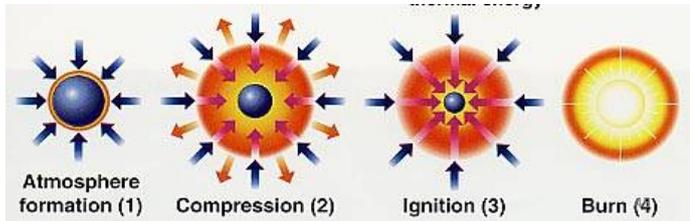
地下核実験から実験室核実験へ。  
1996年に新しい核兵器の性能維持実験の方式が変わった。実験室核実験は、すなわち、レーザー核融合実験である。

原爆・水爆(核兵器)



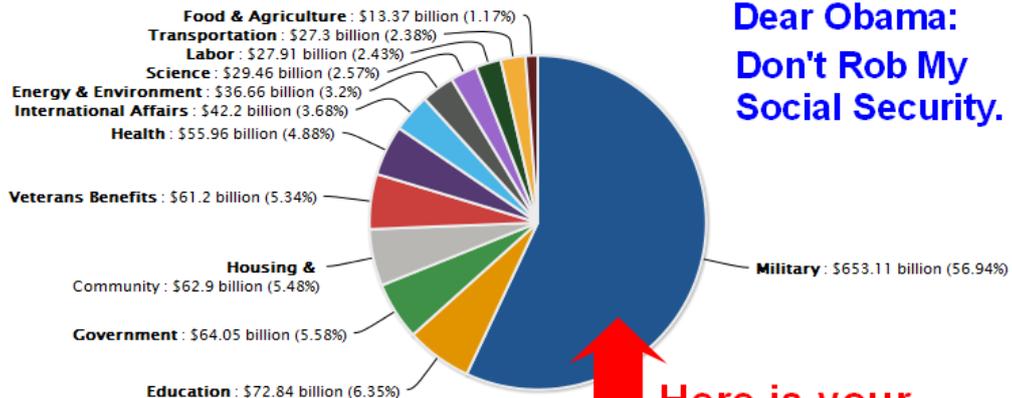
**Explosive process:** The compression of plutonium with a chemical explosive (above left) starts a fission explosion that, in turn, is boosted by the fusion of DT gas. X-rays then compress the fusion device causing a larger fission/fusion explosion.

レーザー核融合



米国の国家予算の分野別割合(我が国とは大きく異なり、軍事が50%以上)

DISCRETIONARY SPENDING FY 2013



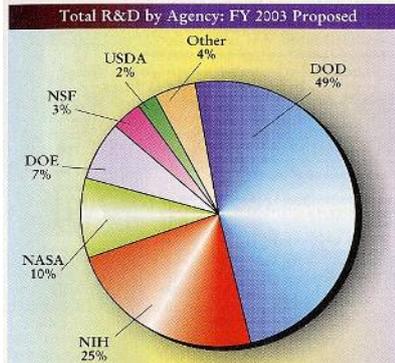
Dear Obama:  
Don't Rob My  
Social Security.

Here is your  
Frickin' Problem!!

THE PRESIDENT'S PROPOSED FY 2013 DISCRETIONARY SPENDING

米国の物理関連R&Dの  
予算内訳

DODが約50%。NIH,DOE,NASA  
などの軍事関連予算を合計す  
ると7割以上が兵器関連予算  
(米国は異常な国である)



WHERE BUSH'S R&D MONEY WOULD GO. The FY 2003 budget request from President Bush, echoes the FY 2002

Department of Energy R&D Programs (continued)

	FY 2001 actual	FY 2002 estimate	FY 2003 request	FY 2002-03 percent change
(millions of dollars)				
Biological and environmental research	514	570	504	-11.6
Energy research analysis	1	1	1	2.5
Small business innovation research	93	0	0	—
Total science R&D programs	3033	3048	3059	0.4
Energy supply R&D				
Renewable energy resources	327	351	361	2.8
Nuclear energy	44	96	63	-34.3
Total energy supply R&D	372	447	424	-5.1
Fossil energy R&D	352	503	416	-17.3
Energy conservation	470	464	413	-10.9
Atomic defense R&D				
National Nuclear Security Administration (NNSA)				
Weapons activities				
Stockpile R&D	263	357	467	30.8
Science campaigns#	231	260	238	-8.7
Advanced simulation computing	746	718	725	1.0
High-energy density physics	238	266	235	-11.4
National Ignition Facility	197	245	214	-12.6
Other construction	151	164	176	7.5
All other weapons R&D	603	775	863	11.5
Total weapons activities R&D	2429	2784	2919	4.8
Nonproliferation and verification	204	238	215	-9.6
Naval reactors	667	665	683	2.6
Fissile materials deposition	29	16	9	-41.3
Total NNSA R&D	3330	3703	3826	3.3
Nuclear safeguards and security	24	25	21	-16.8
Environmental management	103	105	95	-9.4
Intelligence	6	6	6	0.0
Total atomic defense R&D	3462	3839	3947	2.8
Radioactive waste management	44	60	64	5.7

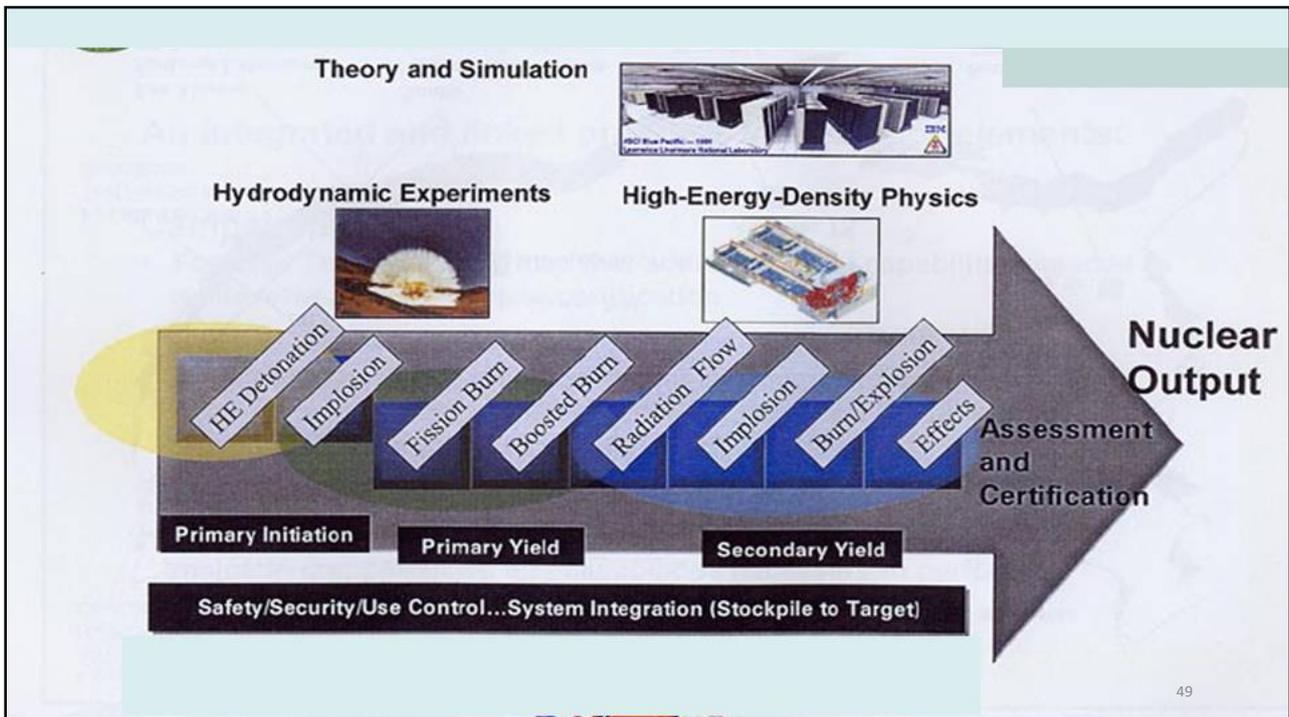
AAAS BUDGET AND POLICY PROGRAM

Department of Energy R&D Programs (contini

FY 2001  
actual  
FY  
esti  
(millions

National Nuclear Security Administration (NNSA)

Weapons activities	263
Stockpile R&D	231
Science campaigns#	746
Advanced simulation computing	238
High-energy density physics	197
National Ignition Facility	151
Other construction	603
All other weapons R&D	2429
Total weapons activities R&D	



49

## 報告

科学・技術のデュアルユース問題に関する  
検討報告



平成24年(2012年)11月30日

日本学術会議

科学・技術のデュアルユース問題に関する検討委員会

科学者は科学の表裏を常に礼儀正しく正直に議論せよ

## II. 規範本文

## 1. 科学者・技術者の職業的責任

科学者・技術者は、自らの職務と成果に対して謙虚であり、その専門性に求められる社会的責任を意識し、責任ある行動を保ち、その能力の向上に努め、真理の追求とその成果の人類の福祉と社会の安全への利用を、職の誇りにかけ、追求する。

## 2. 科学者・技術者の行動原則

用途の両義性の問題に対処するために、科学者・技術者は、自らの職業倫理に基づき行動することが必要である。感情に流されることの危険性を認識し、同僚にもその他にも礼儀正しく正直であり、虚偽を述べない。あるいは沈黙することにより、科学者・技術者とそれを取り巻く共同体または社会に不利益を与えるような行為をしない。

## 3. 科学者・技術者の社会的責任と情報伝達のあり方

科学者・技術者は、自らの研究成果が悪用される可能性を常に意識し、教育、研究・開発、公共の場で研究成果・情報を分かち合い、社会に還元するとともに、意図的または無知・無視に起因する科学・技術の悪用を防ぐように努める。また、人類の福祉と社会の安全に反する結果に至る行為を拒否し、社会及び環境が不当な危険にさらされる状況に対し、責任ある態度を取る。

## 4. 科学者・技術者共同体としての用途の両義性への対応

科学者・技術者は、科学・技術の用途の両義性の問題を、社会の中にある科学者・技術者全体の信頼性の問題として意識し、人を欺かない公平な共同体・社会の構築により、透明性を保った中で対処する。

50

## 科学者は科学の表裏を常に礼儀正しく正直に公開・議論せよ

### II. 規範本文

#### 1. 科学者・技術者の職業的責任

科学者・技術者は、自らの職務と成果に対して謙虚であり、その専門性に求められる社会的責任を意識し、責任ある行動を保ち、その能力の向上に努め、真理の追求とその成果の人類の福祉と社会の安全への利用を、職の誇りにかけ、追求する。

#### 2. 科学者・技術者の行動原則

用途の両義性の問題に対処するために、科学者・技術者は、自らの職業倫理に基づき行動することが必要である。感情に流されることの危険性を認識し、同僚にもその他にも礼儀正しく正直であり、虚偽を述べない。あるいは沈黙することにより、科学者・技術者とそれを取り巻く共同体または社会に不利益を与えるような行為をしない。

## 二つの大きな理由からレーザー核融合研究から距離を置くようになる(1995年頃)

1. 1973年の第1次石油危機や1980年の第2次石油危機から始まったヒステリックなまでの核融合に対する「新たなエネルギー」への社会・政府からの期待が30年経ってなくなってきた。(背景には「30年で実用化」などの発言、核融合への失望感、科学コミュニティからの反発、自然エネルギー指向など社会の価値観の変化)
2. レーザー核融合を巨費を投じて研究している国は「核保有国」であり、それは、CTBT批准に伴う、地下核実験に変わる室内核実験としての研究投資であることが明確に(民生エネルギー開発研究ではない。だまされるな。だますな)