

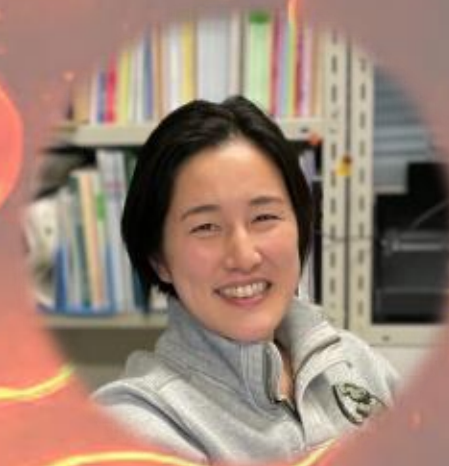
Women in Fusion and Science (WiFaS)



巨大加速器で宇宙の始まり ビッグ・バンを創り出せ！



下村 真弥
奈良女子大学
2025年12月8日



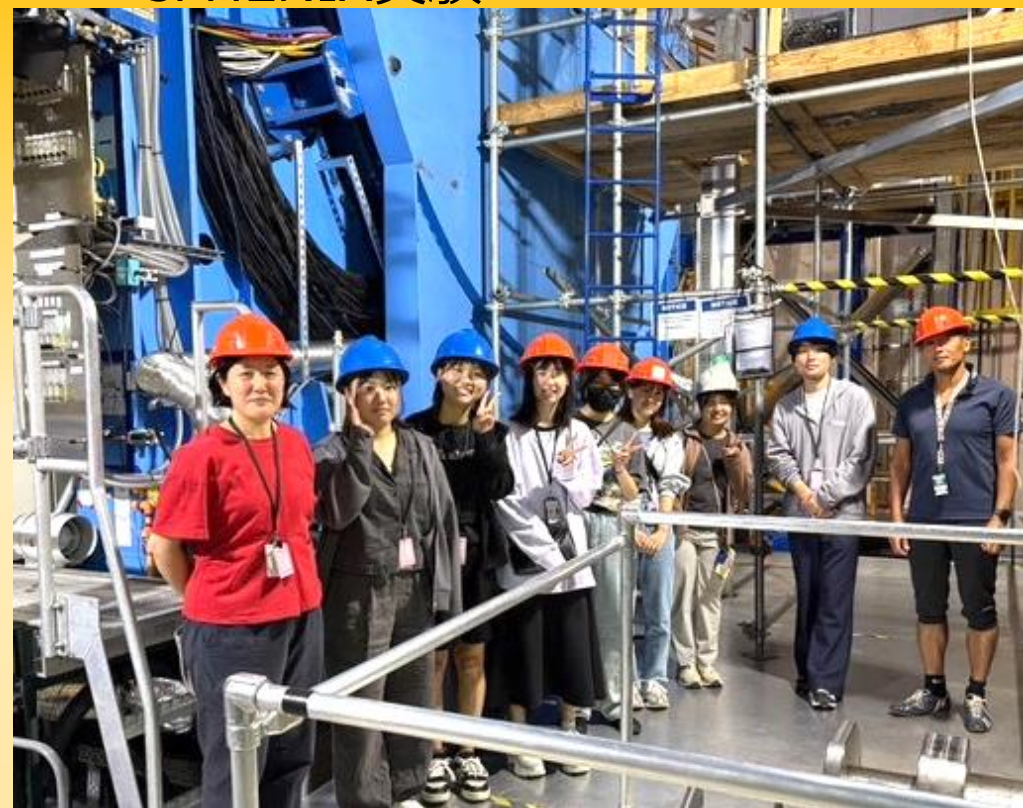
講義I (素粒子) @水戸プラザホテル

自己紹介

2

米国ブルックヘブン国立研究所
sPHENIX実験

- 奈良女子大学 教員 (准教授)
- 国際大型物理実験
 - 主な実験場所はアメリカかヨーロッパ
 - 海外出張が多い。
- 同業の夫と子どもが3人
(13歳、11歳、6歳)



最近の私

3

- 韓国、台湾、アメリカ出張。来週はドイツ。
- 半年間、夫が1人でアメリカへ。ワンオペ！正直、キツイ😓
- 工夫、工夫、改善、工夫。周りにはお世話になりっぱなし。



生い立ち

男女平等主義の家庭に育つ。
父母共に、専門職の正社員。

父と母が「男と女は平等」だと言っているし、対等に話をしているので、平等なのだと思っていた。

高校・大学

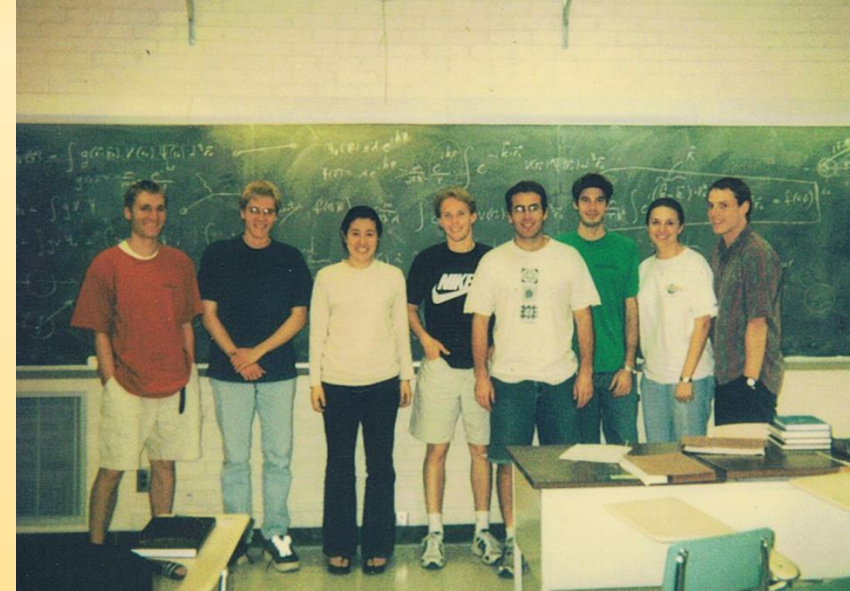
- 高校では部活ばかり。
 - 数学と物理は好き、英語は無理。
- 奈良女子大学理学部物理科へ
 - 英語が足を引っ張った。
 - 工学部とかなり迷った。
- 物理専攻40人女子だけ。
 - 貴重な仲間
 - 自分の特性に気がつけた。

私の運命の人 <https://cheers.jsps.go.jp/adviser/r3/adviser202106/>

居心地は良かったけれど、、留学

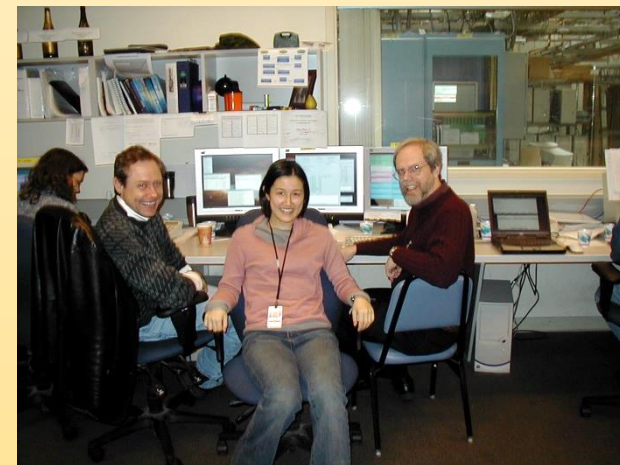
6

- 一生仕事はしたい
- 苦手な英語を克服するためにアメリカへ
 - 米国のアイオワ州立大学に編入
- **この留学が人生を変えた**
 1. 英語力
 2. 視野の広がり
 - 自分の常識が世界の常識じゃない経験
 - 仕事にも私生活にも役立った。



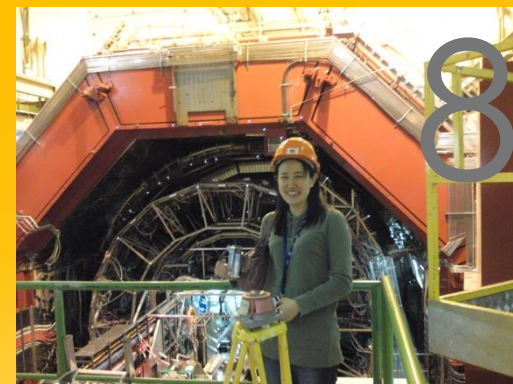
修士課程

- 筑波大学大学院へ
 - 男子ばかりの環境へ、不具合色々あり。 (女子大の良さを実感)
- アメリカでの国際大型実験
 - 文化背景の違う人たちと一緒に仕事
 - 英語力 + aのおかげでチャンスが増えた



博士課程後半・博士号取得

- 博士論文の柱となるスケーリング則を発見。博士号取得！
 - 卒論・修論は諦めなければ可以的。博士論文は、ちゃんと研究しないとできない。
 - 逃げそうになることも。就活・結婚、、、。
 - 精神力も大事。鈍感力？
 - 周囲の協力が存分にあって、恵まれた環境だった。
- 筑波大学の研究員に就職。
 - 博士論文に関係のない仕事が色々ふってきて、ネガティブな思考もわいたが、結局それらの仕事が将来的に役にたった。
- 夫との同居生活スタート
 - 夫はアメリカ、私はヨーロッパへ出張が多く、一年のほとんどが別居生活。連絡は密に取り合っていた。



海外ポスドク・出産・奈良女へ

9

- 留学時代お世話になったアイオワ州立大にポスドクとして雇われる。
 - 学生の時の成績等が選考に影響。
 - ニューヨークの実験所に滞在する職。
- やっと夫と同居生活。
 - 二人とも博士号取ったし、子育て一緒にできるチャンスは今しかないかも！→結婚、出産へ。



- 次の職としてKEKへ
 - 女性が多い加速器分野
 - たくさんのことを学ばせてもらった

- そして現職へ

自分の常識で制限しないことが大事。



女子学生の心配

- 子育てと仕事を両立できるか
- 仕事に支障がでないか。子どもを不幸にしないか。
- 産休・育休など制度の充実した会社に入れるか。
- 夫が非協力的だったらどうしよう・・・。

そういう心配をしている男子学生に出会ったことがない！
その結果、そんな2人が夫婦になると、

でも、幸せな研究者家庭には確実に存在する「まともな」パートナー。
夫選びは(多分)大事。ただ30%が離婚する時代。
自分の人生を自分でコントロールするために、経済的自立はもっと大事。

どんな研究をしているの？

- **高エネルギー**原子核衝突実験でつくる、クォーク・グルーオンプラズマ(QGP)

QGPとは？

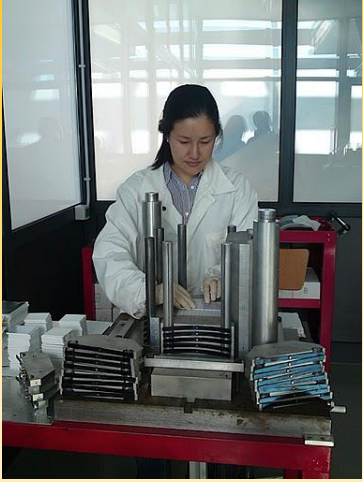
- 物質の最小単位、素粒子（クォークとグルーオン）がバラバラの状態になっていること。
- クォークとグルーオンは、通常、核子の中に閉じ込められていますが、**超高温または超高密度**にすると、閉じ込めから解放される。これがQGP。

どうやる?? 巨大加速器で大きな原子核を正面衝突させる！

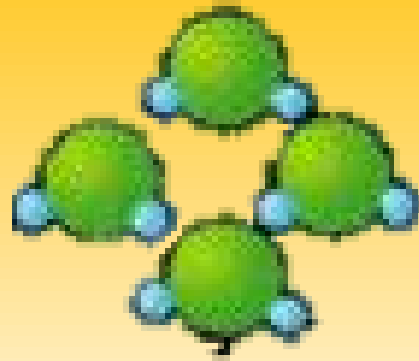
物質の最小単位

12

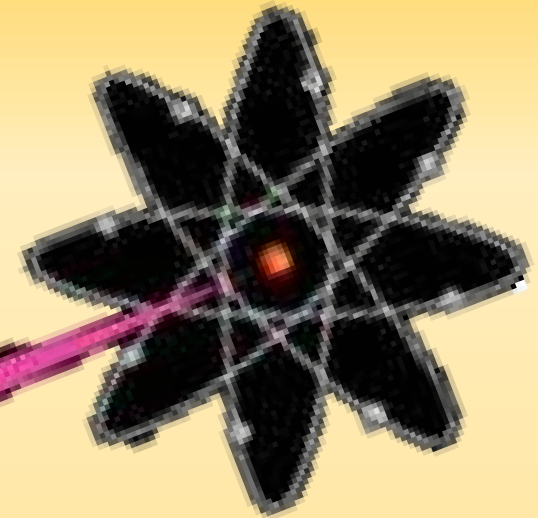
人($10^0 \sim 10^1 \text{m}$)



水の分子(10^{-9}m)



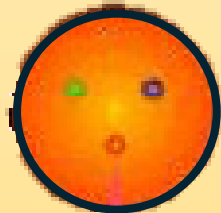
酸素原子
(10^{-10}m)



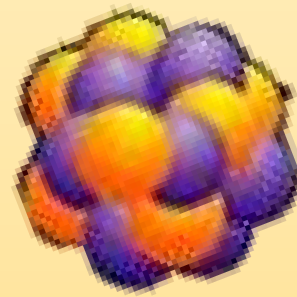
クォーク (素粒子)
(10^{-18}m)



陽子・中性子
(10^{-15}m)



原子核(10^{-14}m)



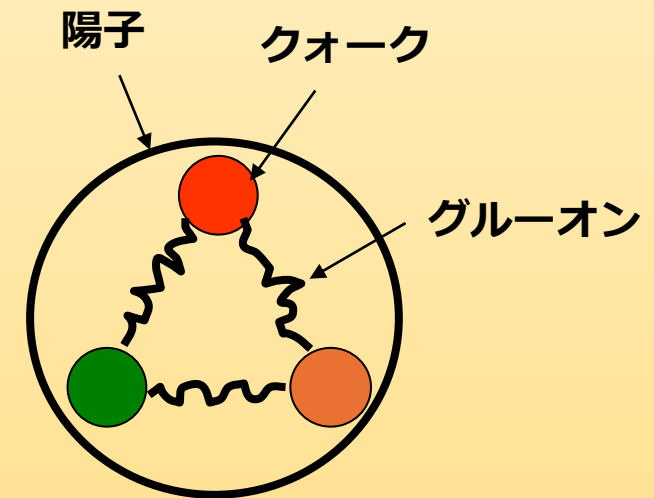
クォークの種類 (フレーバー)

軽い ← → 重い

アップ u	チャーム c	トップ t	電荷 $+2/3 e$
ダウン d	ストレンジ s	ボトム b	$-1/3 e$

質問
陽子と中性子の構成クォークは？

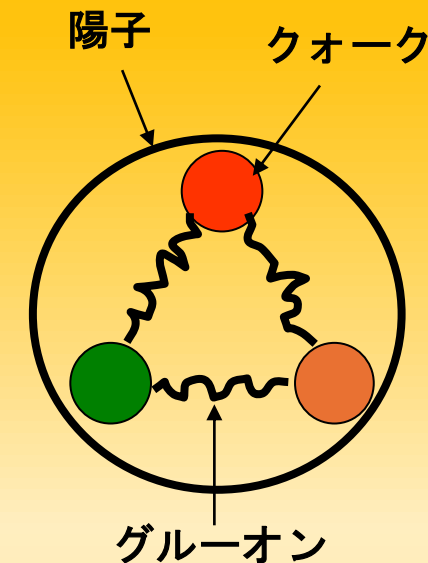
答え
陽子 u u d
中性子 u d d



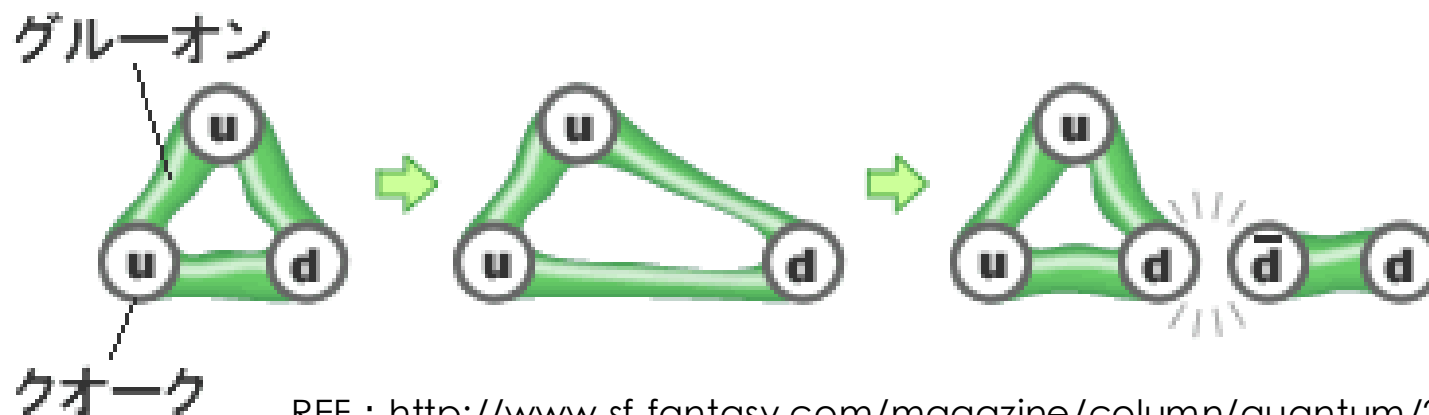
クォークの閉じ込め

クォークとグルーオン

- 陽子・中性子などのハドロンの構成要素
- 量子色力学 (QCD) で記述され、遠距離になると相互作用が大きくなる(強い力)
- 単独では観測されておらず、ハドロン内では閉じ込め状態にある



クォークを1つだけ取り出して調べたい



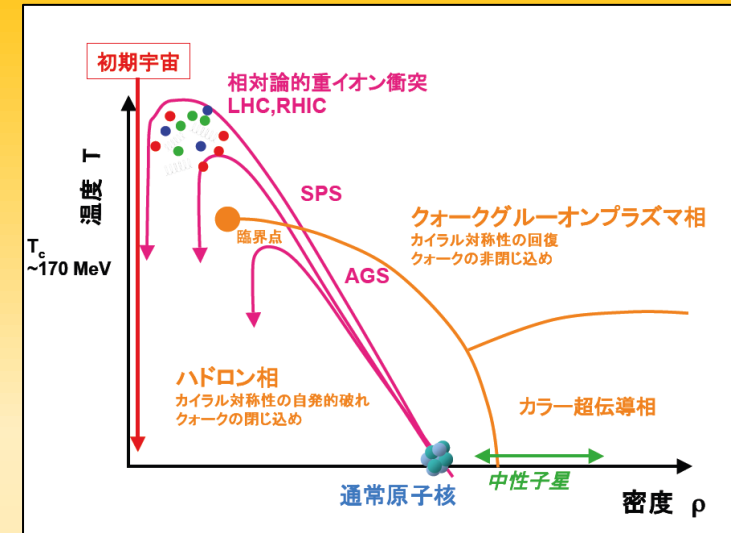
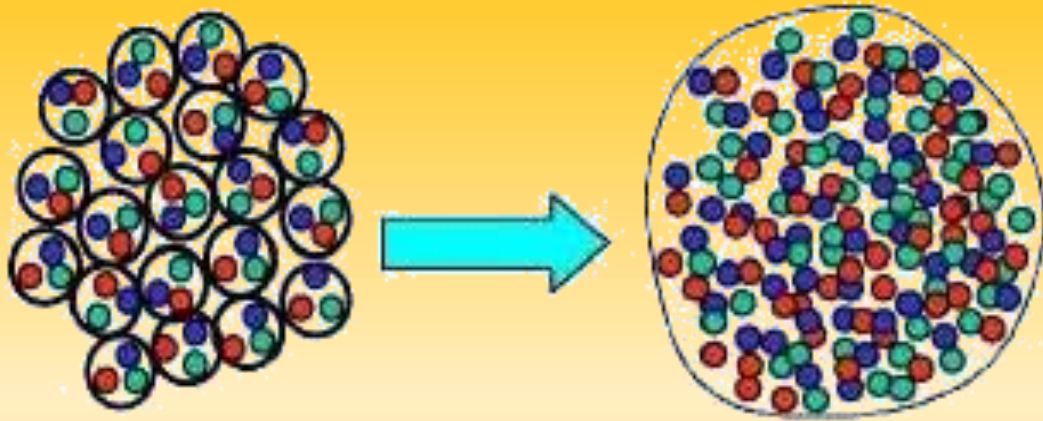
REF : <http://www.sf-fantasy.com/magazine/column/quantum/200504.shtml>

ところが、、、
クォークを一つだけ取り出そうとすると、そのエネルギーでクォーク・反クォーク対が生成される

クォークグルーオンプラズマ (QGP)

15

原子核の核子密度が5~10倍以上の状態を作り出せたとすると・・・



クォークとグルーオンが自由に動ける違う物質相

クォーク・グルーオン・プラズマ (QGP) に相転移する

→ この状態を作り出して性質を調べたい！ → 高エネルギー重イオン同士の衝突

実はQGPって。

16

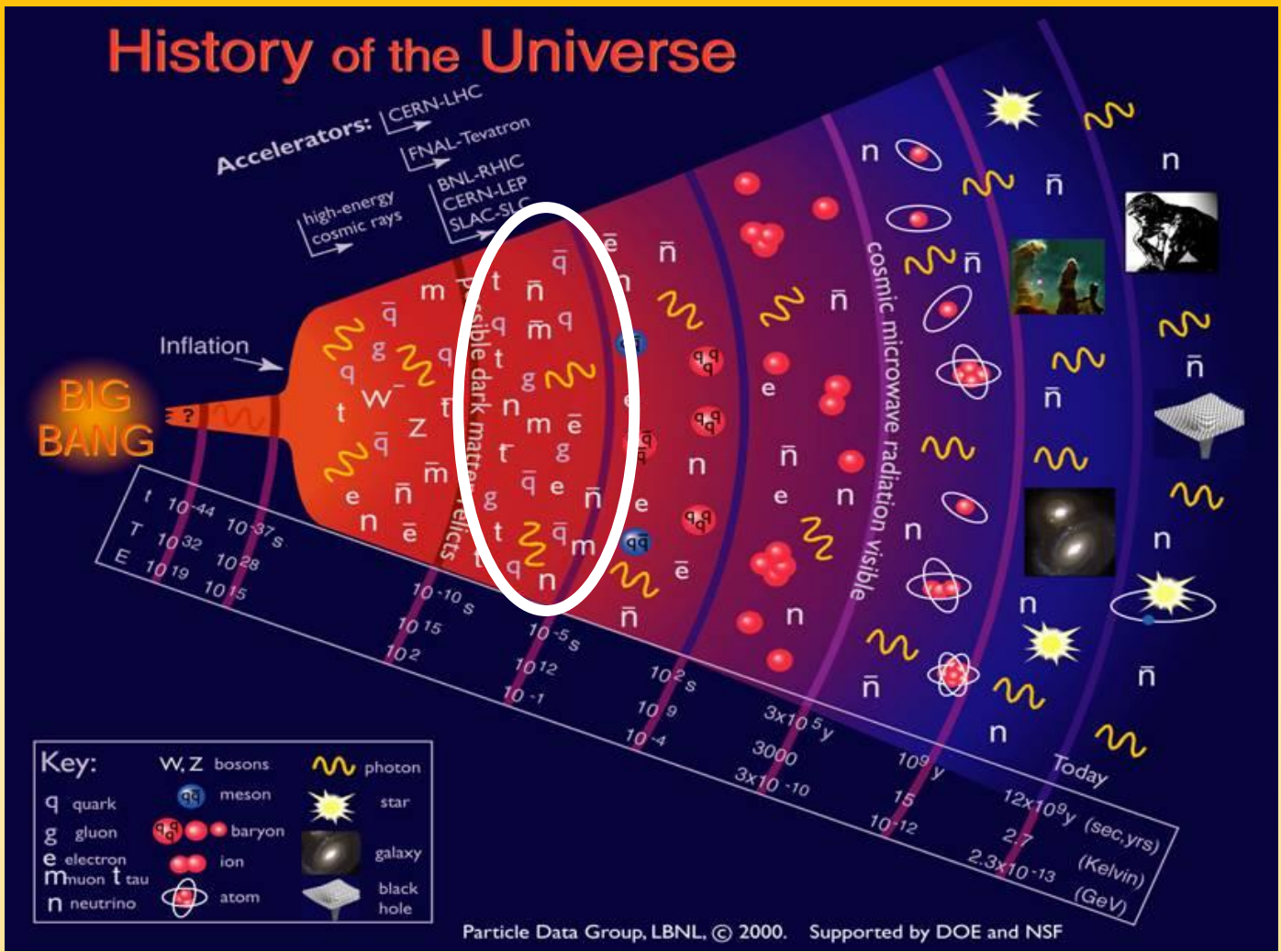
宇宙の初期と一緒

・ビッグバン後 10^{-8} 秒後

$$\frac{1}{100000000} \text{秒後}$$

$$= \frac{1}{1 \text{億}} \text{秒後}$$

実験（リトルバン）で宇宙初期を再現できるのか!?



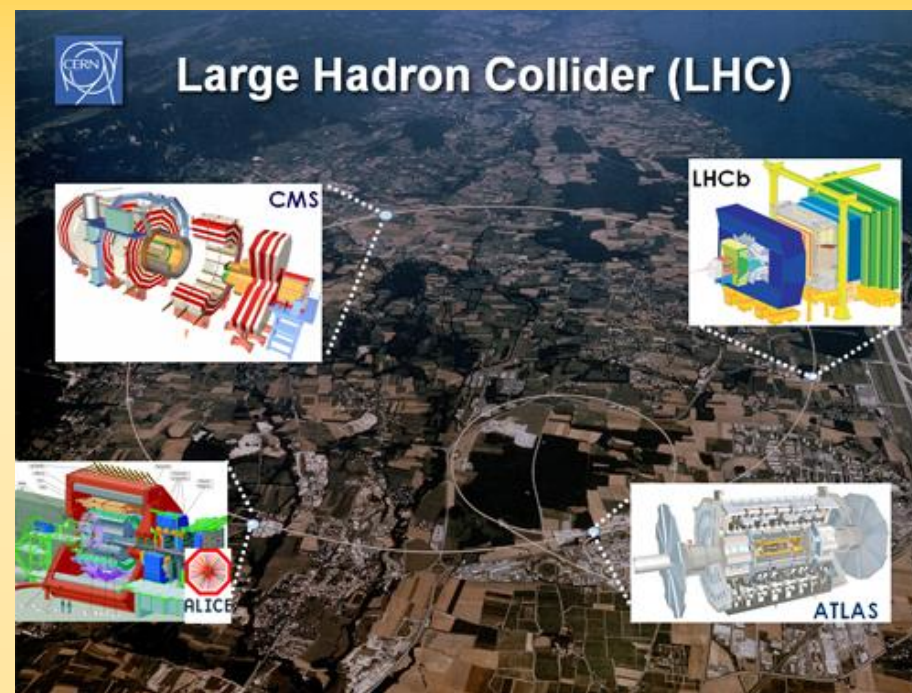
世界に2つの円形巨大加速器

17

相対論的重イオン加速器 (アメリカ)
Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC)
- 円周3.8km



世界最大 大型ハドロン加速器
Large Hadron Collider (LHC)
円周27km(地下100m こうめた)



飛び出してくる粒子を観るハイスペックな実験装置

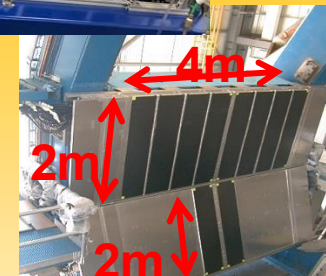
18

- 速度を測るストップウォッチ
 - 10^{-12} Sの違いがわかる
- 通った位置を測るカメラ
 - 0.014mmの違いがわかる
 - 0.05mm x 130万チャンネル
- 大量のデータを保存
 - 2.5 kHz ~ 10 MHzの衝突
 - 1.25 GByte/s (2008 ALICE)



シリコン飛跡検出器

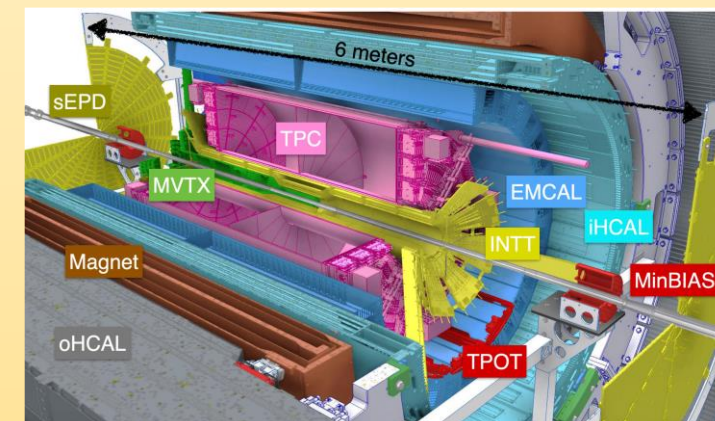
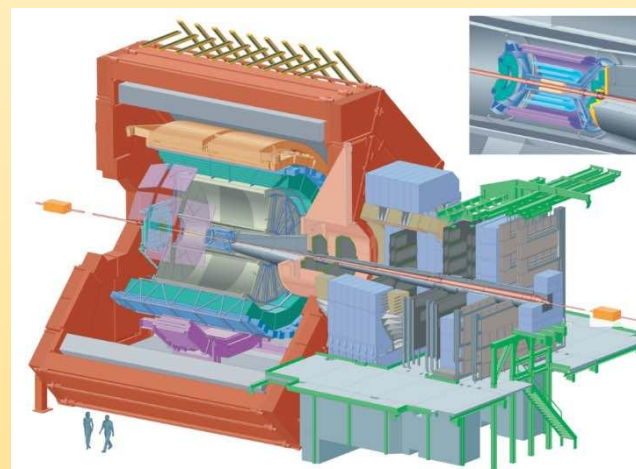
エアロジェロチェレンコフ検出器



飛行時間測定器

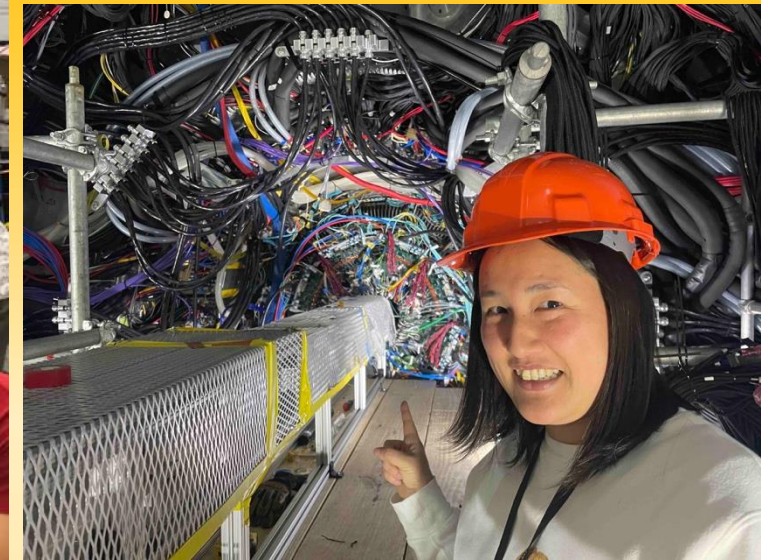
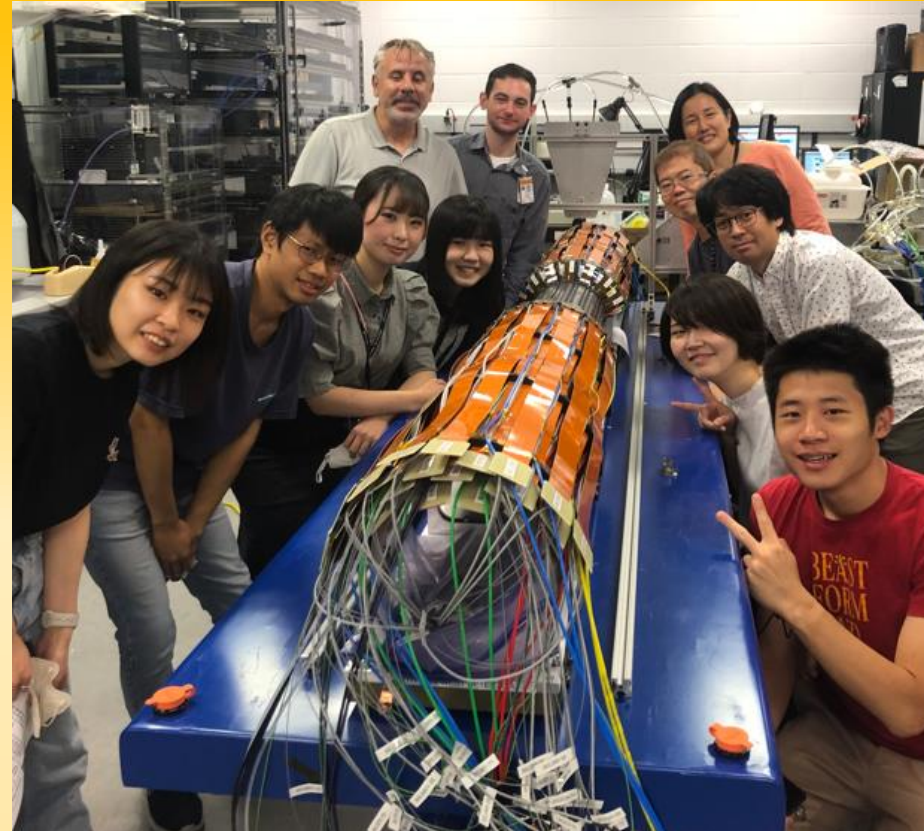
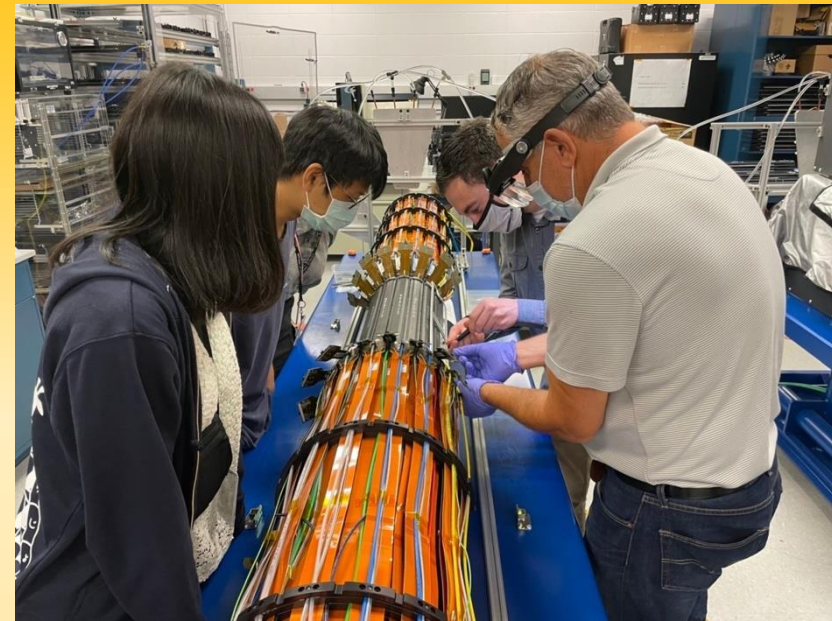
ALICE 実験

sPHENIX 実験



検出器作りも研究の一部

19



世界に1つのものを作るので、問題は続出。議論をしながら改良を進める。
企業やその他の研究所とも連携。大学の実験室にも試作機をセットアップしてテスト。

実験、議論、解析、議論

20

- いよいよ実験。まずは、セットアップ、取れたデータのチェックも重要。順調には、いかないことも多い。
- **実験・解析、上手く行った時は、嬉しい。**
- 日本人以外との議論は、言語以上の壁があり、相互尊重が不可欠。
 - 言うのは簡単、実践は難しい。



大学院生も活躍。



国際色豊かな実験シフト

国際実験なんです

21

- 大学院からは、渡航して実験参加。
- 世界の研究者達と一緒に研究。数々のカルチャーショック。
- 謙遜も遠慮も美德じゃない？
 - 1%動いていないのか、99%も動いているのか。

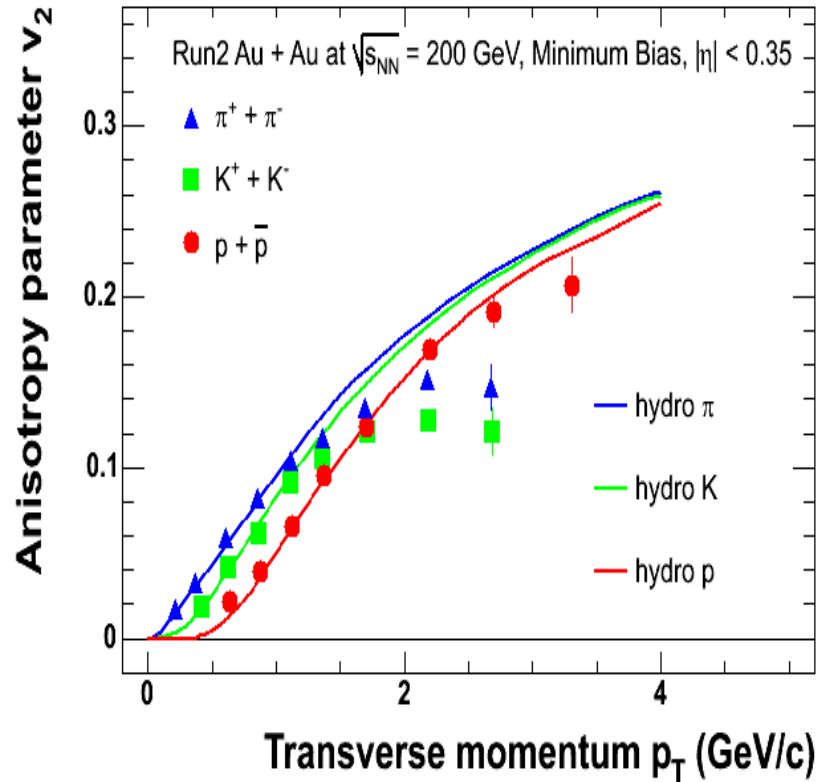


担当する検出器のことを報告する院生

QGPできた！ でも、液体???

22

Rev. C 67 (03) 044903
Phys.Rev.Lett.91 182301
(2003)



NATIONAL GEOGRAPHIC

TOP | ニュース | 写真 | 動画 | 連載 | 雑誌

News

誕生直後の宇宙は超高温の“液体”

2010.12.02

Image courtesy ALICE/CERN

スイス、ジュネーブ近郊の大型ハドロン衝突型加速器 (LHC) で行われている大規模な原子の衝突実験から、ビッグバン直後の宇宙の振る舞いが高密度、

日経サイエンス

2006 08

宇宙最初の100万分の1秒

ビッグバン直後の“クォークスープ”が再現された

DNAコンピューター
超大型望遠鏡の挑戦
アマゾン誕生の謎
アルツハイマー病を阻止する

35th Anniversary

思っていたのと違う~! ?

さらに・・・

- もっとエネルギーを高く、熱くしたらガスになる？
- この流体の性質は？
- 小さな衝突でも条件次第でQGPができる??

→ 次の研究へ

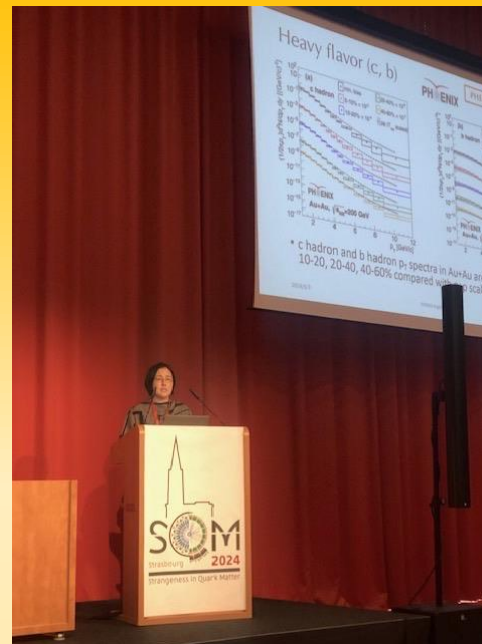
国際学会で発表

アメリカ



24

フランスで。



上手く伝えることはとても大事。
テクニックを教育で身につけている人が多い。
何度も挑戦するうちに慣れる。自分のやりやすい発表の仕方がみつかると。
→更に上手になりたければ、伝えたいという情熱で話すこと。

(むりやり) まとめ

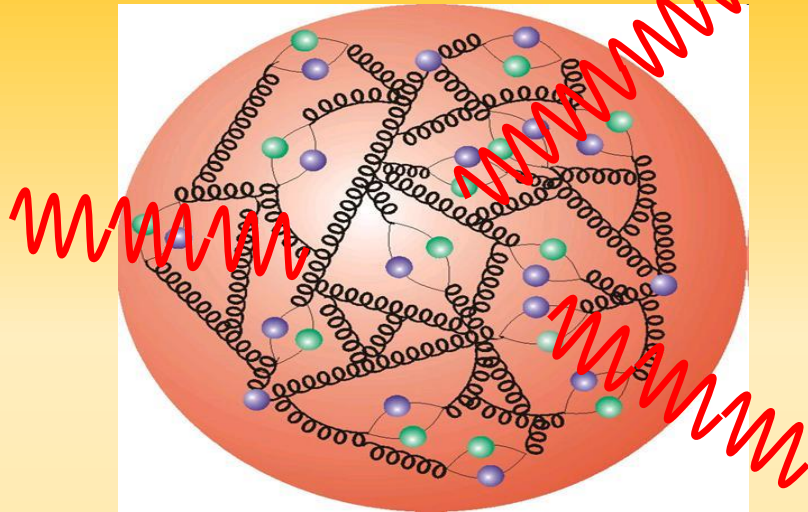
- 巨大な加速器を使って、重い原子核を加速し、正面衝突してクォーク・グルーオンプラズマができた！
 - さらに調べる必要があり、研究は続く
- 女性が生きていく上で、まだまだ無意識の偏見や差別、期待される役割分担があるが、自分自身がそれにとらわれてないか、意識する。
 - 「自分の常識」に、こだわらず、「自分の幸せ」を考える。
- 批判する人がいるように、応援してくれる人もいる。やりたいと思う気持ちを大事にして、する（できる）方法を考える。
- 研究で培われた能力はどこでも役にたつ。論理的思考・プレゼン・議論・英語
- 応援してます！

ご清聴ありがとうございました。

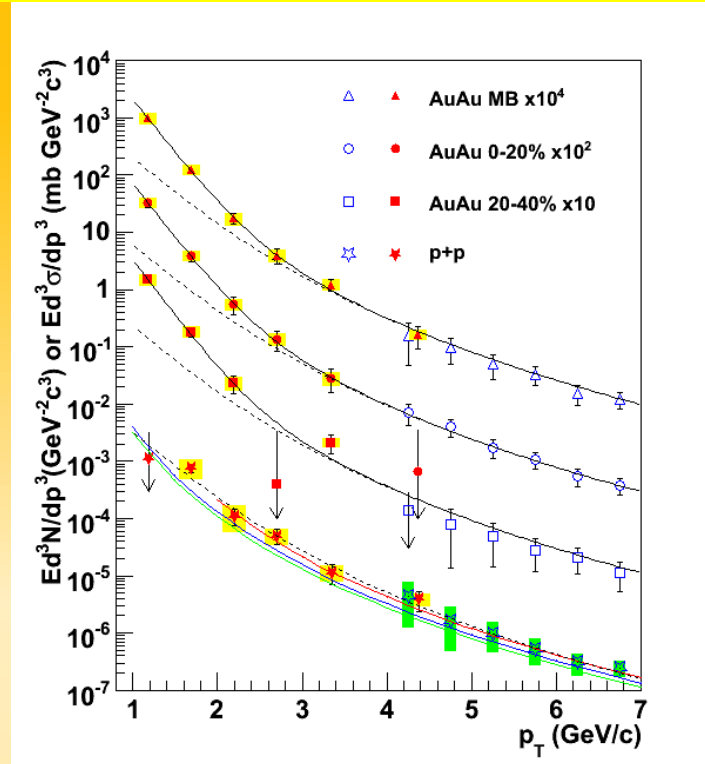
Back Up

無事に実験成功！

証拠(1)QGPからの光



PHENIX: PRL104,132301 (2010)



高温のQGPからの **熱的光子**

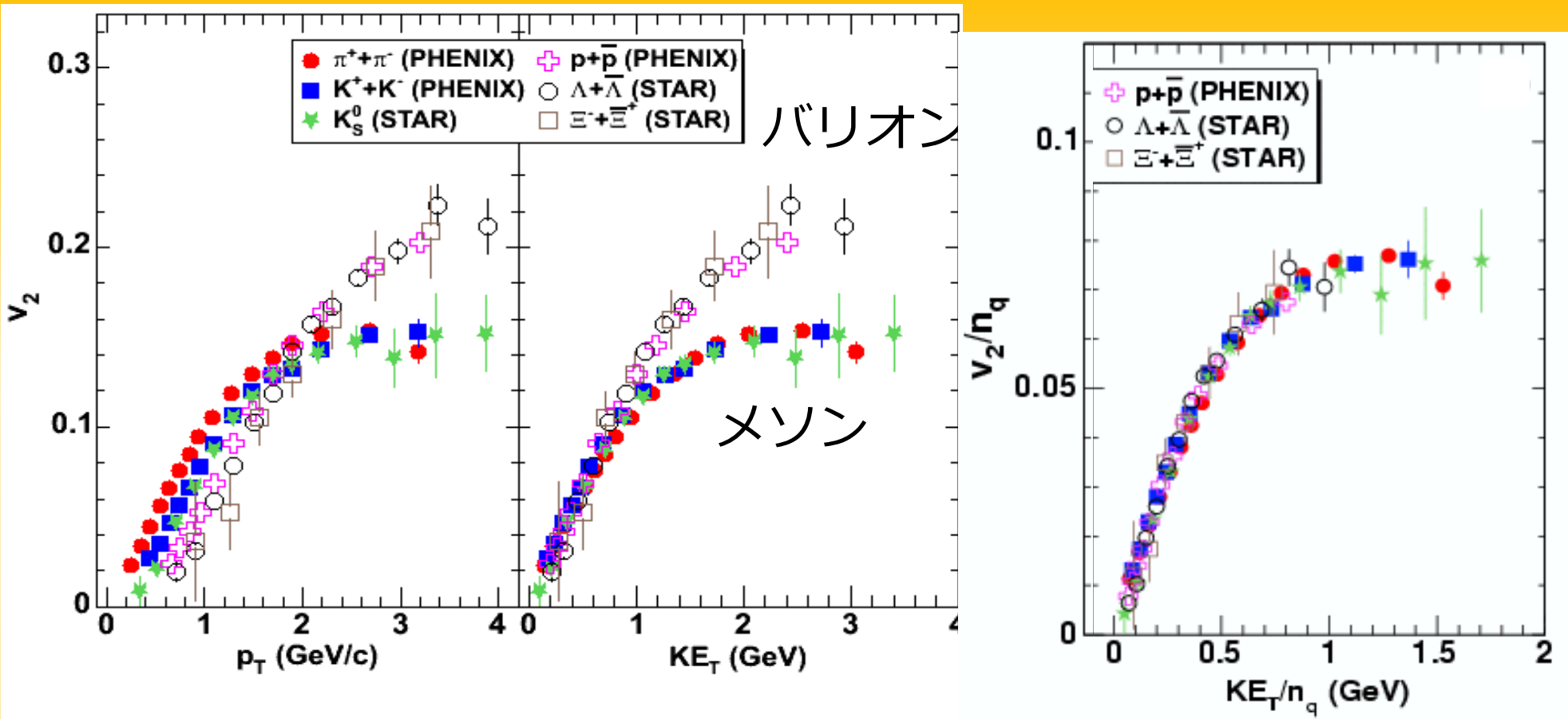
- 光子のエネルギー分布測定
- 初期温度は $T_{init} = 300 - 600 \text{ MeV}$
→ QGP生成に十分な温度に到達

クォーク・グルーオンプラズマ (QGP) は、つくられた！！！！

証拠(2)クォークの集団運動

29

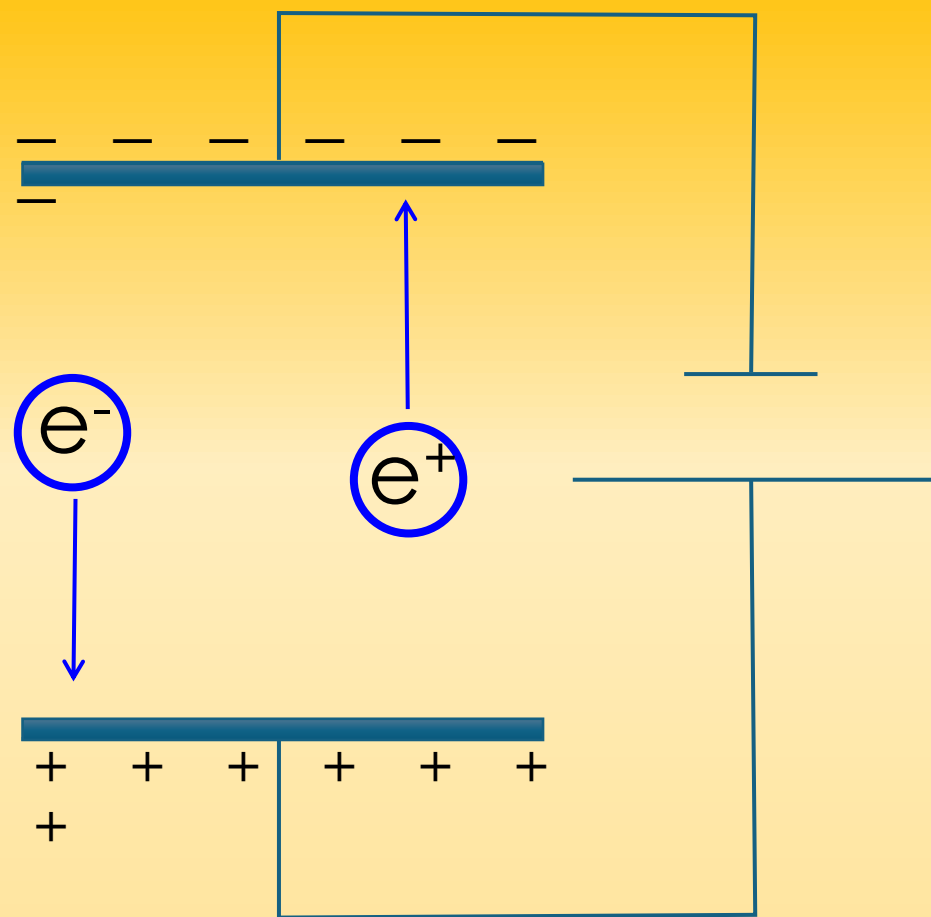
[PRL 98, 162301](#)



集団運動の偏りの強さ v_2
メソン (クォーク2個) と
バリオンの
(クォーク3
個)、
クォークの数で
割ると一致

クォーク単位でバラバラになった \rightarrow QGP

加速器とは？



- 電気力（電場）で加速して、磁石の力（磁場）で曲げる。
- 大きい加速器ほど、速く加速できる。
- 速く加速できる＝エネルギーが高い方が小さいものが観察できる。
- 固定標的型と衝突型の加速器があり衝突型の方が高いエネルギーに到達できる。

超高密度物質、「原子核」

地球（ウィキペディア）

半径：6,371 km

質量： 5.972×10^{24} kg



仮に原子核と電子の距離を0にすると半径が1万分の1になるので、

半径：0.6 km

質量： 5.972×10^{24} kg

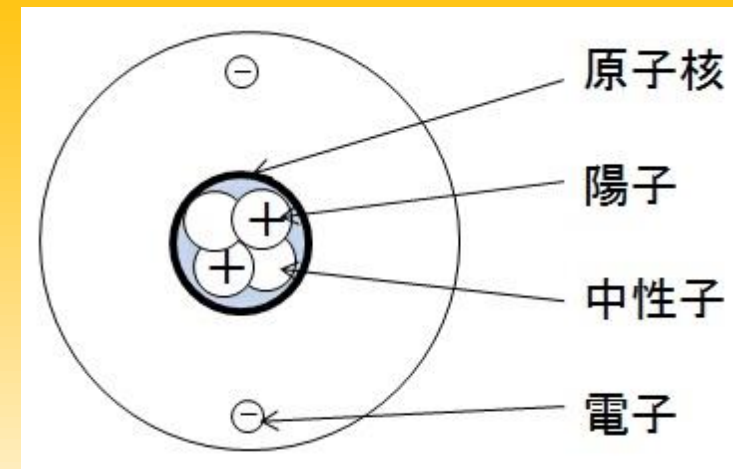


密度が同じ、りんご1個のサイズの重さは？

半径：6 cm

質量： 6×10^{12} kg = 6000,000,000 トン

ものすごーく、重たい！！



子育てと研究

32

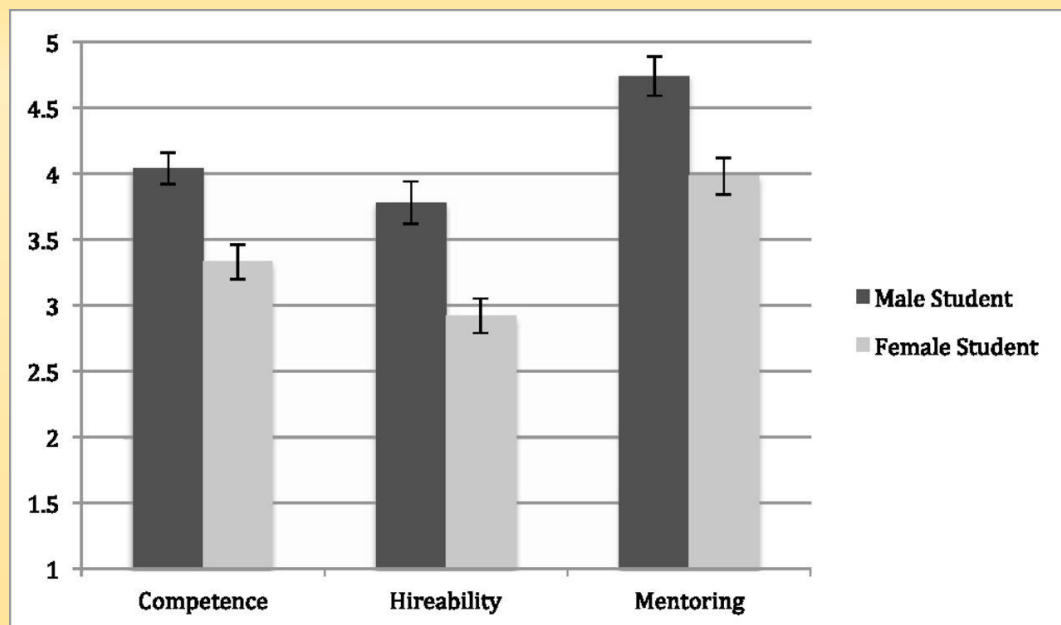
- アメリカは育休がないので、2ヶ月で復帰。4ヶ月で飛行機乗って学会発表。
 - 男も女もみんな子育てする。17時に帰る。
 - 日本に比べて「母親はこうあるべき」が少ない。
 - 保育園は高い。月12万/人
- 研究にかけられる時間は激減する。
 - 保育園・ファミリーサポート・ベビーシッター・病児保育
 - 国際実験・時差が苦しい
- 出張に子ども連れ
 - 最近は科研費で託児費用が払える
- 人生で初めて他人を心底羨ましいと思った体験
 - 「夫と私はパートナーだから」と言い切れるアメリカ人女性研究者
 - 話し合い・話し合い・話し合い。あきらめないこと。
 - 理系でよかった。理詰めで議論。
 - 3人目育休。
- 研究者という職業
 - 休む自由はある。ただし、業績は自分にしか作れない。



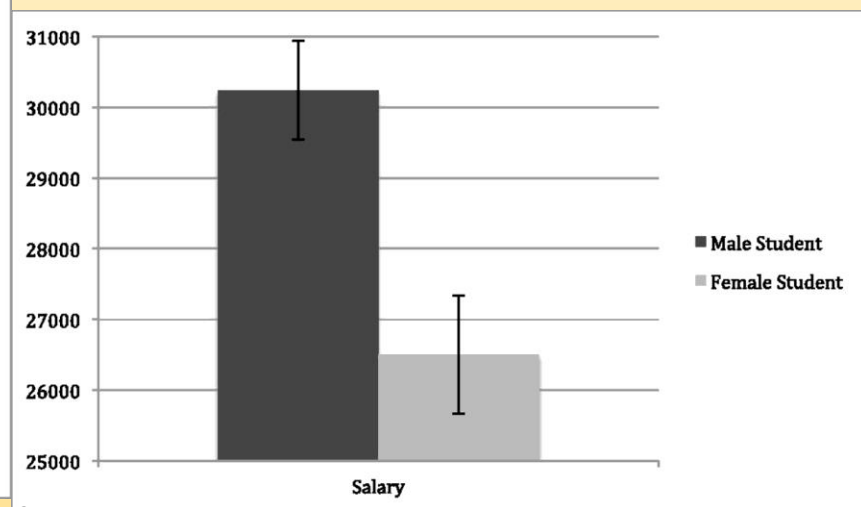
無意識での偏見【男女差別の実験】

- 科学系の大学教授127人が被験者
- 研究所の研究者
 - 能力、給料、メンター（指導者）になりたいか。
- 同じ内容の応募書類
- 男女の名前を適当につける

→結果は、男性が全て高い評価。科学者ですら、差別している！



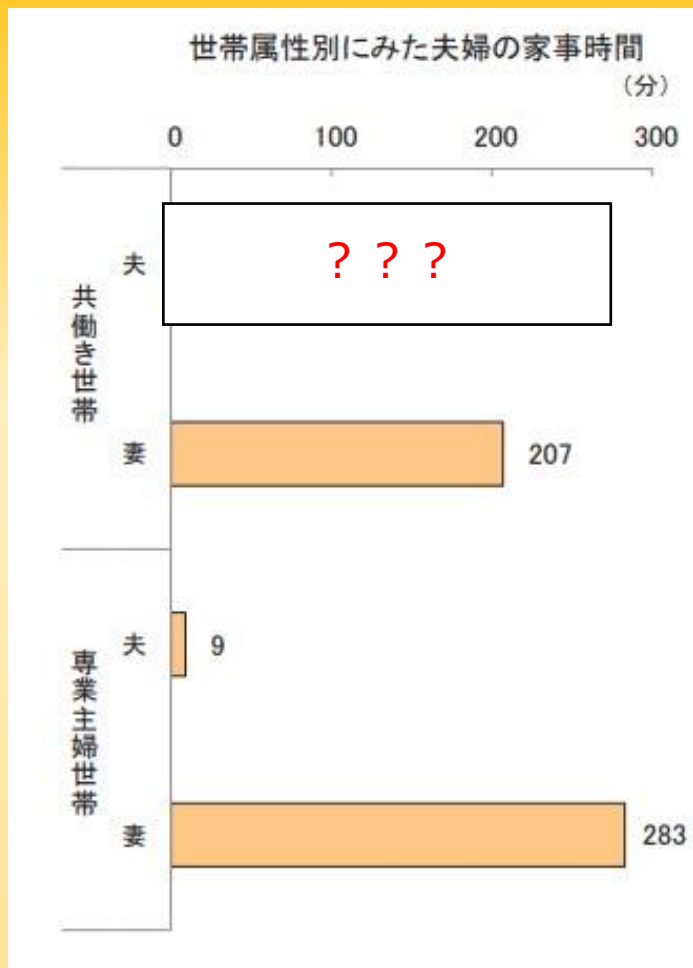
年収約 40万円差（1ドル=100円）！



Corinne A. Moss-Racusin et al. PNAS 2012;109:16474-16479

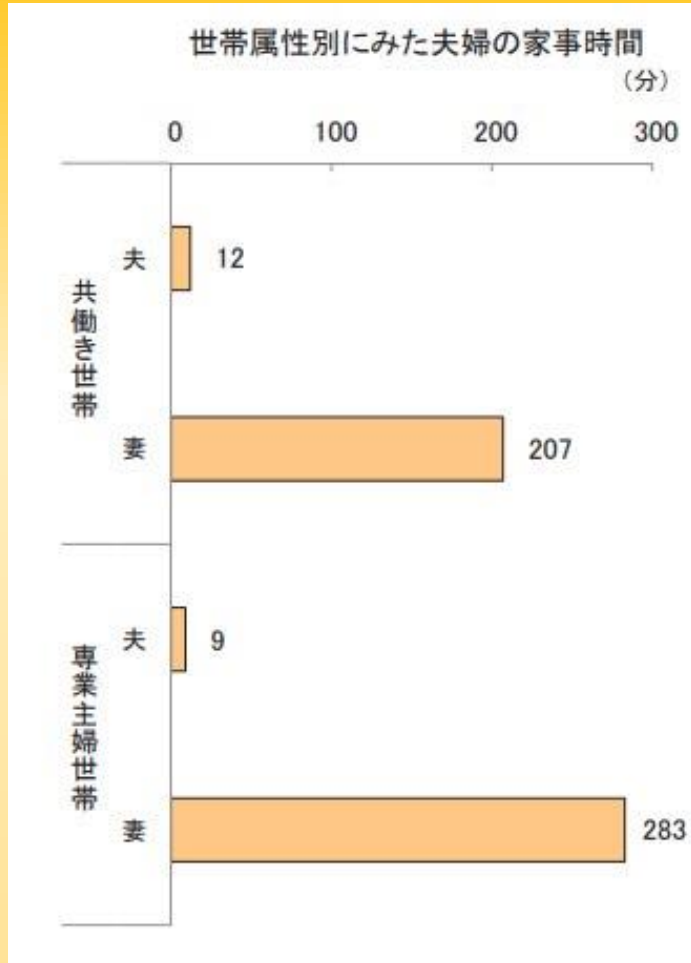
日本の現状

総務省統計局「社会生活基本調査」(2011年)



日本の現状

総務省統計局「社会生活基本調査」(2011年)



たったの3分しか増えていない!!!
女性の6%!

男性が単に非協力的なだけ、、ではない。長時間労働のしわ寄せ。

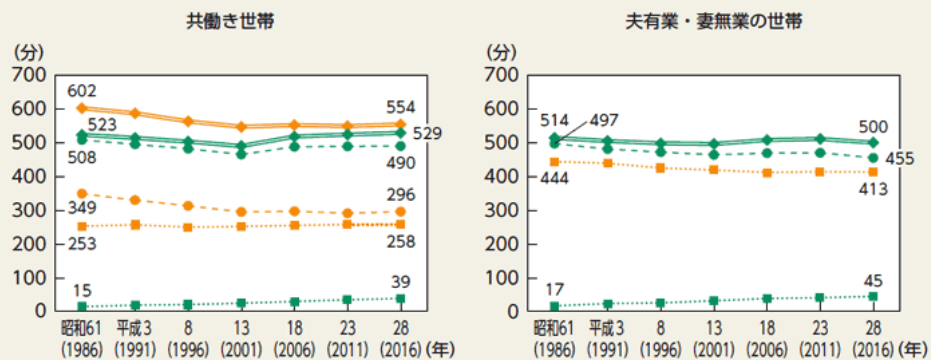
なぜそんな会社に入ったのか!?

もう少し最近 (2016) の結果

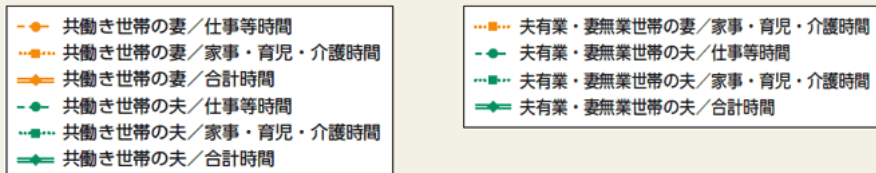
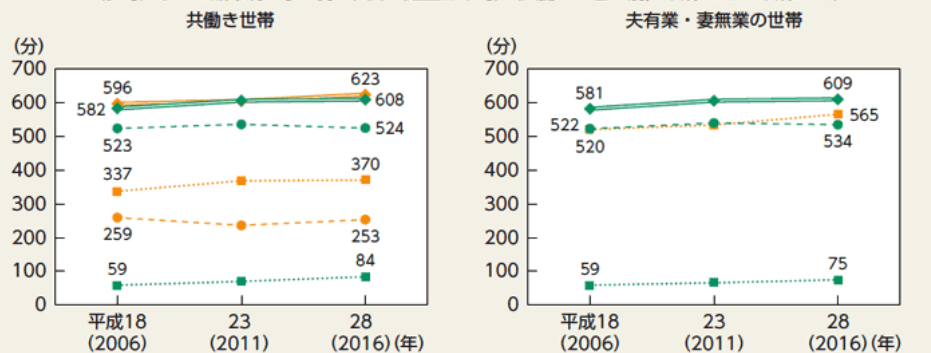
36

- あんまり変わってない。

I-特-2図 夫婦の家事・育児・介護時間と仕事等時間の推移 (週全体平均、夫婦と子供の世帯) (共働きか否か別、昭和61年→平成28年)



(参考) うち6歳未満の子を持つ夫婦 (週全体平均) (共働きか否か別、平成18年→平成28年)



(備考) 総務省「社会生活基本調査」より作成。用語の定義は「I-特-1図。男女別に見た家事・育児・介護時間と仕事等時間の推移 (週全体平均) (年齢階級別、昭和51年→平成28年)」と同じ。

総務省「社会生活基本調査」より作成。

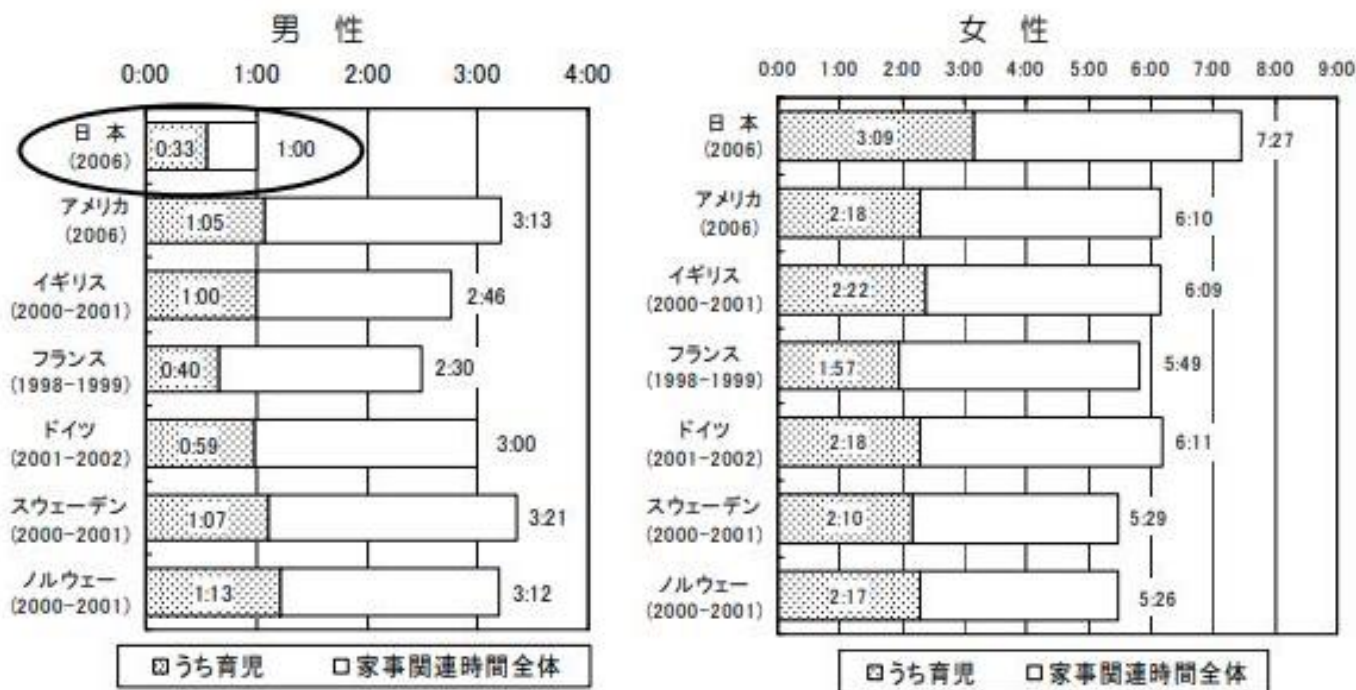
https://www.gender.go.jp/about_danjo/whitepaper/r02/zentai/html/zuhyo/zuhyo01-00-02.html

世界との比較

- 厚生労働省Web http://www.mhlw.go.jp/shingi/2008/09/dl/s0926-3c_0002.pdf

日本人男性の家事・育児時間は、非常に短い。

6歳未満児のいる男女の育児、家事関連時間(週全体)

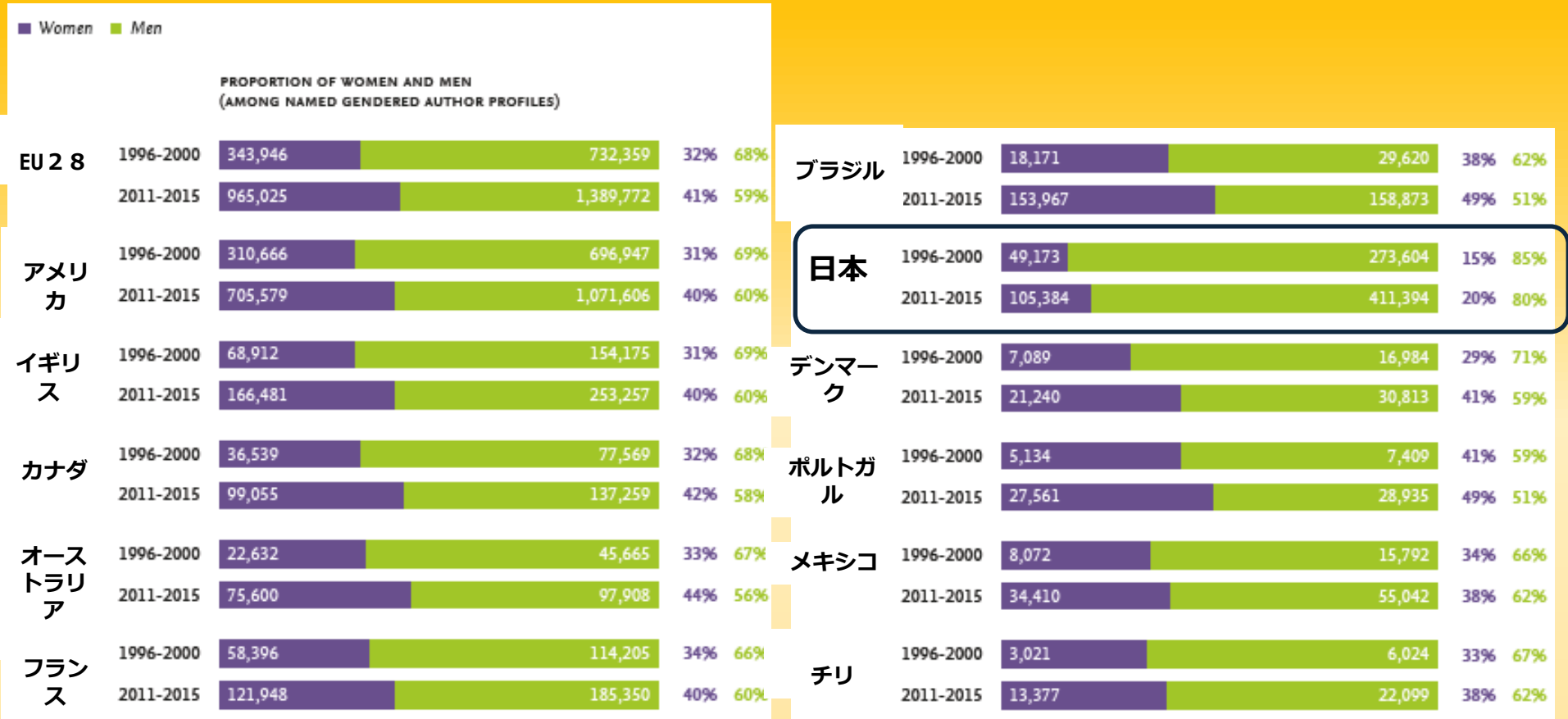


「夫婦で家事育児」の長所

38

- 家族みんなですべてになれる。
 - 相手の苦勞が理解できる。
 - 働くのも育児もどっちも大変。
 - 相談・助け合い→より仲良くなる
 - いざ、と言う時も「大丈夫！」
 - 子どもと仲良し
- もう一人産んでもいいかな？
 - 夫の家事育児時間が長いほど子どもが多い。
- 夫婦共生を先取りすべし！

科学者の男女比変化



女性の比率は全世界で上がっている。
日本は、15% から 20% へ上がってるが他の国に比べると低い。