

# Einsteinの考えたこと

有馬塾

August 9, 2010

国際基督教大学

北原和夫

# 自己紹介

- 1946年(戦後)生まれ:「和夫」man of peace
- 両親から聞いたところでは、幼稚園、小学校低学年時代は、汽車に興味があったらしく、よく踏み切りで列車を眺めていたらしい。
- 小学校後半のときに、よい先生に恵まれたと思う。こちらの勝手な仮説に対して、いつも褒めてもらった。
- 中学の頃は歴史に興味があった。近くの農家の古老の家を訪ねて、地域の歴史を調べた。英語が好きだった。かなり乱読をした。
- 高校生ときは、数学、物理、哲学に関心があった。
- 大学に入って、物理学を専攻
- 卒業後、修士は東大、博士は、ブリュッセル大学化学科で学んだ。その後ボストンに渡り、MIT化学科研究員など
- 物理、化学、数学の境界領域を研究分野としてきた。
- その後、東大、静岡大、東工大、国際基督教大学と転々。
- 物質の研究、理科教育の在り方、理科教育の国際協力、科学と社会の関わりに関心を持っている。

# 奇跡の年1905年 アインシュタインの3つの革命

- 特殊相対性理論(時間と空間)
- ブラウン運動の理論(揺らぎ)
- 光電効果(光の粒子性)

また、本日は長崎に原爆が投下された記念日  
原爆とアインシュタインは関係が深い

QuickTimeý Ç²  
TIFFÅîÒàllèkÅj êLí£ÉvÉçÉOÉâÉÄ  
Ç™Ç±ÇÃÉsÉNE`ÉÉÇ³⁄₄â©ÇÈÇžÇ¹⁄₂Ç...ÇÕïKóvÇ-ÇlÅB

QuickTimeý Ç²  
TIFFÅîÒàllèkÅj êLí£ÉvÉçÉOÉâÉÄ  
Ç™Ç±ÇÃÉsÉNE`ÉÉÇ³⁄₄â©ÇÈÇžÇ¹⁄₂Ç...ÇÕïKóvÇ-ÇlÅB

# アインシュタインとは

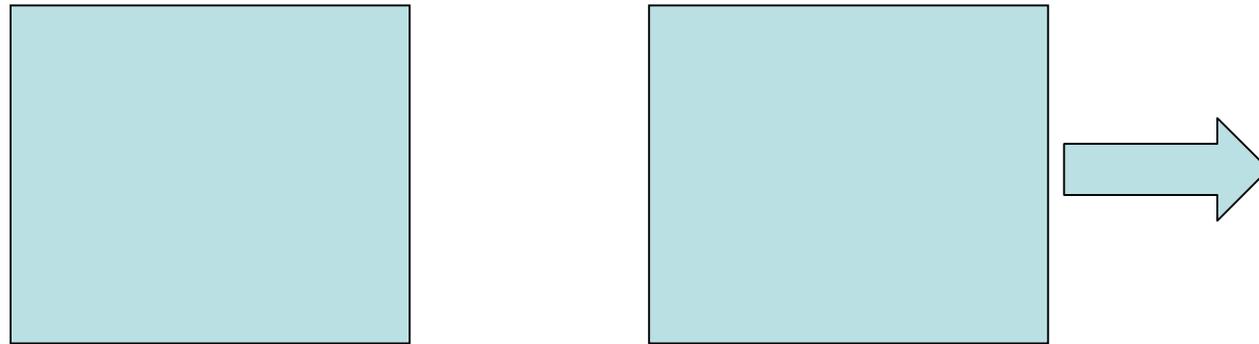
- 1879/3/14-1955/4/18
- ドイツのウルムで生まれて、1901年スイス国籍
- 1905年「奇跡の年」
- 1922年来日 日本に向かう途中で21年度ノーベル賞受賞の知らせ(1919年日食観測)
- 1933年米国に移住
- 1939年原爆製造を大統領に進言
- 1955年Einstein-Russell宣言

# アインシュタインの疑問

- もし乗り物の速度を上げて、光速に近い速さで走ったら、光は遅く見えるだろうか？もし、光よりも速く走ったら、過去まで見えるようになるだろうか？つまり、江戸時代の徳川家康の顔から出た光は、いま宇宙の彼方を進んでいるのであるが、それに追いつくことができるだろうか？

# 相対性理論

- 時間と空間に関する厳密な考察
- 物理法則の普遍性: 一定の速さで静かに動いている箱の中では、静止している箱の中と区別がつかない。



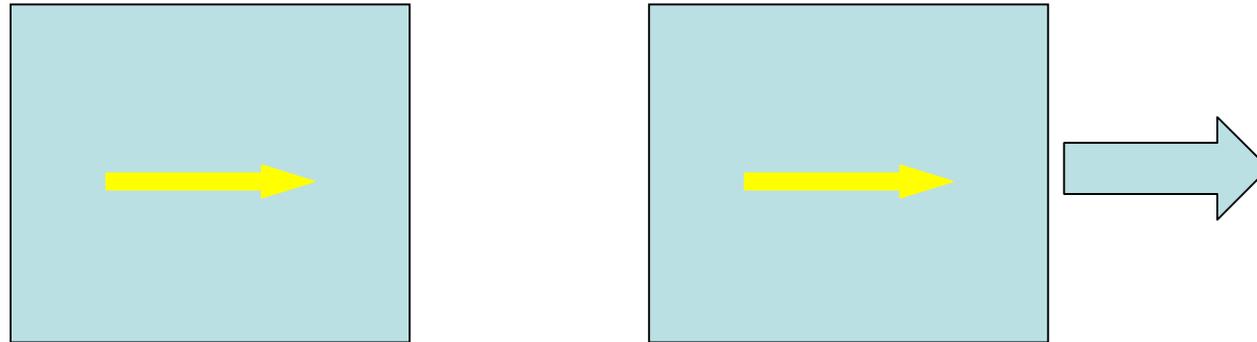
- 電車が静かに動いていたら、中にいて動いていることが分かるか？

# 一定速度で動いていると気付かない

- 地球の公転: 公転半径1億5千万キロメートル、公転速度は秒速約30キロメートル
- 地球の自転: 赤道半径6400キロメートル、秒速500メートル位、遠心力は重力よりもずっと小さい。
- 地表において、地球の運動を感じない

# 相対性理論2

- 光は真空中を伝わる電磁波である。光速(秒速30万キロメートル)
- 物理法則の普遍性から、静止している箱の中で秒速30万キロメートルであると同様に、静かに動いている箱の中でも、箱の中のものさしと時計で秒速30万キロメートル



# 速さとは？

- ある時間 $T$ (秒)の間に距離 $L$ (メートル)だけ進んだとすると、速さとは $V=L/T$ (毎秒何メートル)である。
- 問題: 同じ速さのとき、1秒で1メートル、1分で60メートル、1時間では何メートル？
- 同じ速さなら、時間と距離は比例する！

# 距離とは？時間とは？

- 距離は物差しで測る。



- 時間はどうやって測るか？時間はみえるか？見えないか？
- 昔からの時計：水時計、日時計、腹時計？

# 時間そのものは直接見えない！

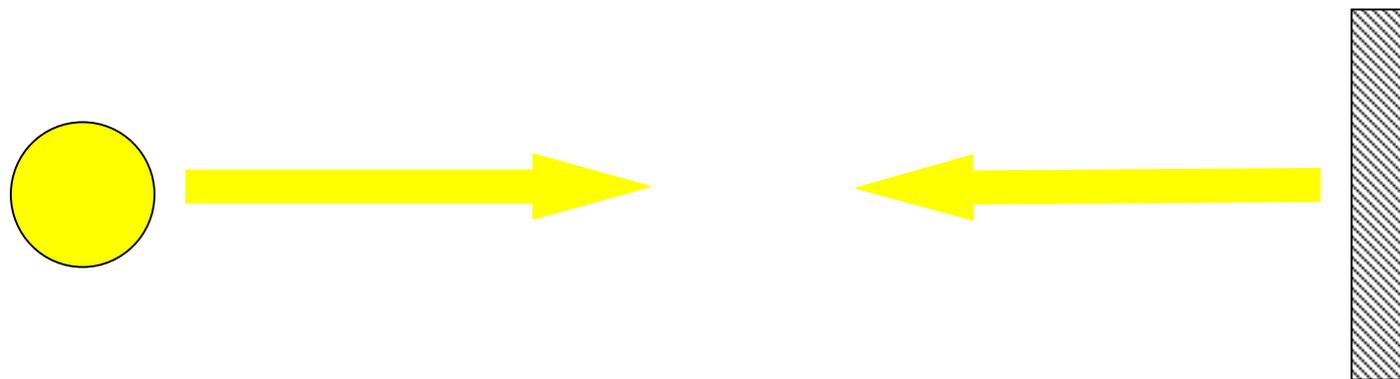
- 一定の振動をしているとみなされるもの：振り子、バネの運動、脈拍、心臓（でも本当に時間を計っているのだろうか？）
- 物理学における時間：力の働いていない物体の速さは一定である、ということを使う。

時間の経過を物体の進んだ距離で測る。

（実際的には、原子の出す光の振動数を基準にしている。）

# そこで時間の定義をしよう！

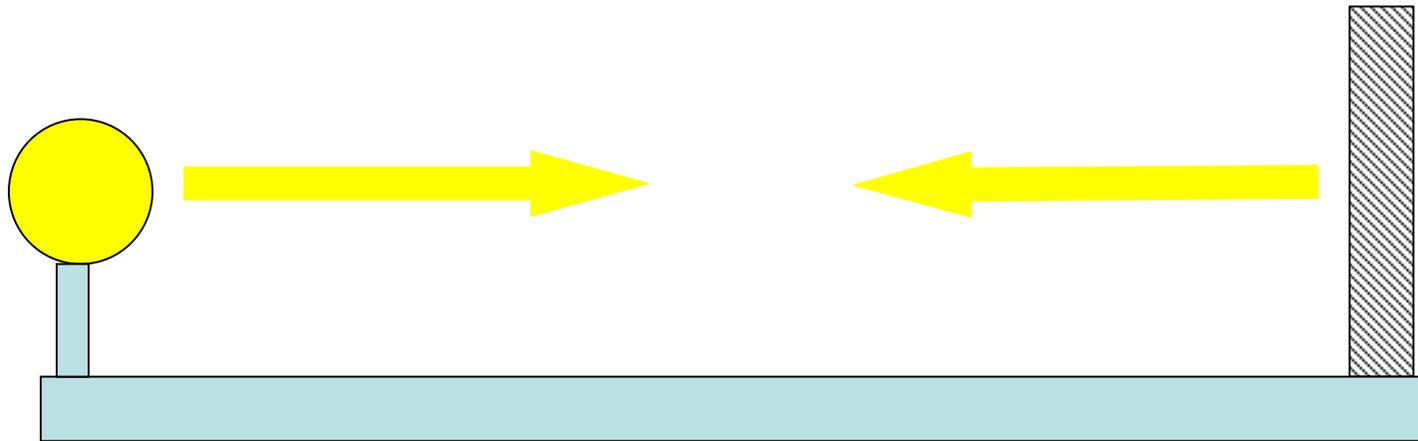
- 光速が秒速30万キロメートルであるということをむしろ「原理」として、時間を決める。ある地点で一秒が経過したということは、そこから発した光が、15万キロメートル離れたところにある鏡で反射されて戻ってきたとき、一秒が経過したと「定義」する。



- 15センチを往復するのに何秒かかるか？

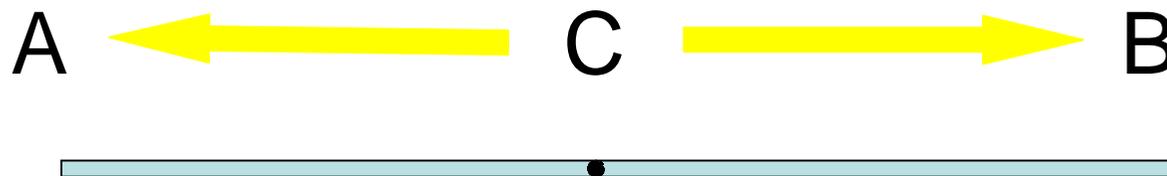
# 動いている電車の中でも

- 光速が秒速30万キロメートルであるということをむしろ「原理」として、時間を決める。ある地点で一秒が経過したということは、そこから発した光が、15万キロメートル離れたところにある鏡で反射されて戻ってきたとき、一秒が経過したと「定義」する。



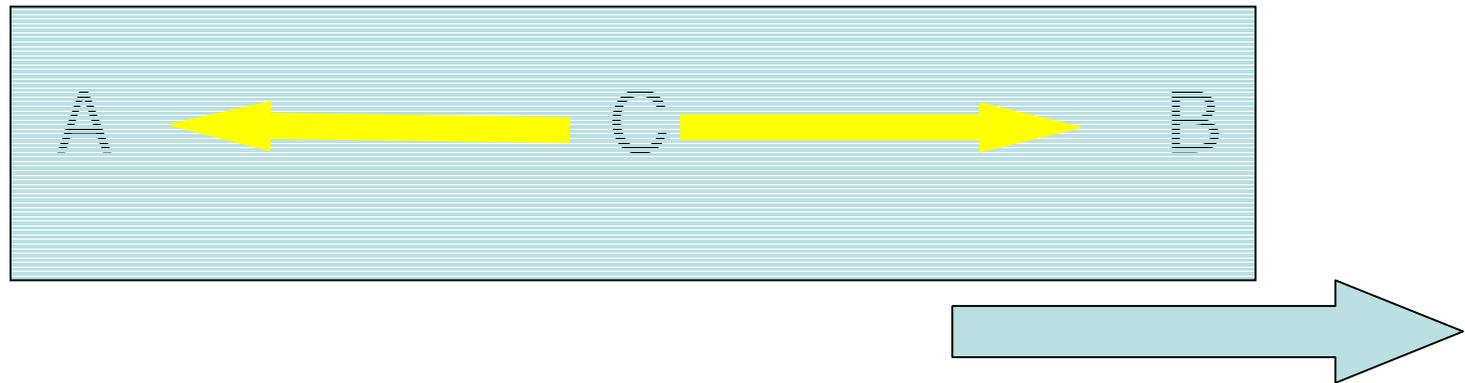
# 離れたところの時間の合わせ方

- 相手を見る場合、必ず過去の相手を見ている。1キロ離れた人は $1/300000$ 秒過去の姿
- 同時とは？



# A, C, Bが動いているのを 外に固定した時計で見ると

- Cを発した光がA、Bに到達する時刻は異なる。



- Aは光に向かう(早い)、Bは光と同じ方向(遅い)

# 遠隔地の同時性

- 観測者が地上にいるか、乗り物に乗っているかによって異なる。
- ABCと一緒に観測者が静止していれば同時
- ABCが動いていて、観測者が静止していると、同時でない！

# 動いている箱の中の長さや時間と静止している箱の中の長さや時間の関係

- 同じ事件を表すのに、二つの表し方がある。  
静止している箱における位置 $x$ と時間 $t$   
動いている箱の中における位置 $x'$ と時間 $t'$

$$x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, t' = \frac{t - \frac{Vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

ローレンツ変換: 正しい空間と時間の変数を用いると、位置と時間が一緒に変換される。

# 時間の伸び

$$x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, t' = \frac{t - \frac{Vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

- 地上でみて  $x = Vt$  で動いている物体の固有の時間  $t'$  を求めると、

$$t' = \frac{t - \frac{Vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = \frac{t - \frac{V(Vt)}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = t \times \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} \quad t > t'$$

- 宇宙から降ってくる宇宙線の寿命：百万分の一秒、光速毎秒30万キロ、光速に近い速さで走っても300メートル。ところが一万メートル上空から地上に到達。

# 相対性理論における正しいエネルギー

- 粒子の速さ $v$ 、質量 $m$

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \approx mc^2 + \frac{mv^2}{2} + L$$

- 静止エネルギー：質量とエネルギーの等価性
- 電子と陽電子
- 陽子と反陽子

ところでエネルギーって何だろう？イメージとしては  
「蹴飛ばす能力」

# 一般相対論

- 重力で光が曲がる。光は電磁波で質量がないのに、重力で引かれる！
- 落下している箱の中は無重力。光は直進する。よって外から見ると、光は重力に引かれて曲がることになる。
- 1919年の日食観測で検証された。

# ブラウン運動

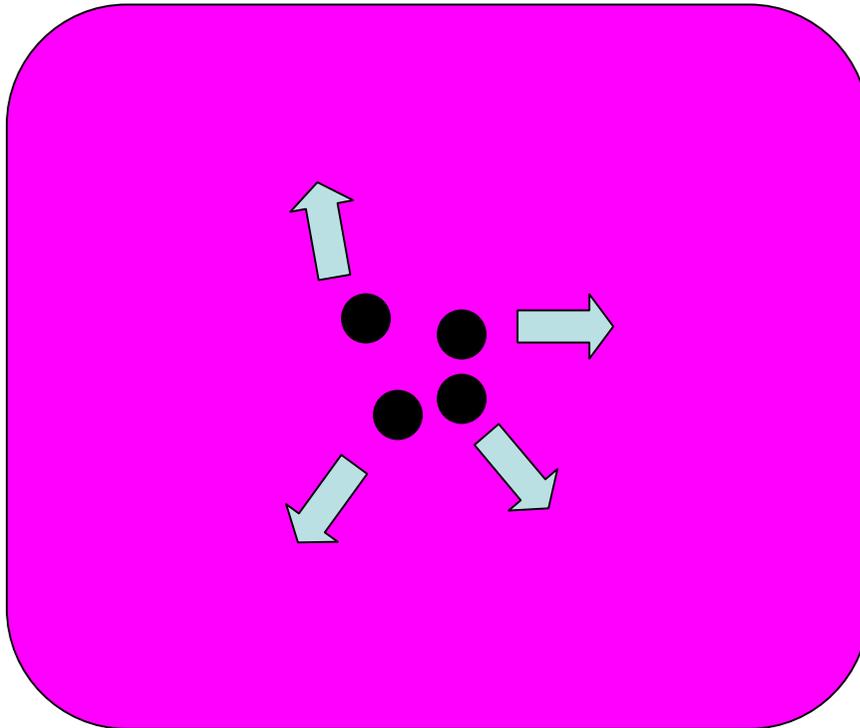
- 今、砂糖でも泥でも、水より重ければ、落下するが、全部底にたまるのではなく、底は濃い、上方で、次第に薄くなる。なぜ、全部底まで行かないか？
- 濃い方から、薄い方に押し出す力「浸透圧」がある。浸透圧の原因は何か？濃いところから次第に拡散する。

# 熱運動

- 液体分子(水)は運動をしている。お互いに衝突したり, 微粒子と衝突する。
- アインシュタインは、このでたらめの運動が、微粒子の拡散と関係していることを見抜いた。
- 拡散が濃い方から薄い方への流れを作る。重力が下方への流れを作る。その釣り合いで濃度の分布が決まる。

# 拡散

- 水にインクを垂らす。(ガリレオ工房の伊知地国夫氏による映像)

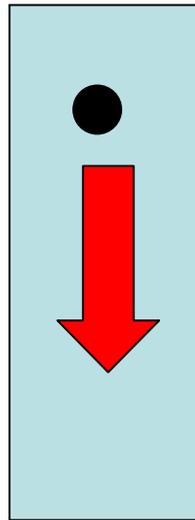


# 酔っぱらい問題

- 右も左も分からなくなった酔っぱらいはどこまで放浪するか？
- ある地点にいた酔っぱらいは、次の一歩で、右に確率 $1/2$ で、左に確率 $1/2$ で存在する。
- 次にまた一歩歩いたら、さらに右に行く確率はどうなるか？
- またもとに戻る確率はどうなるか？
- 一般にどのようにしたら求まるか？
- ゼロ歩目 $1$ 、一歩目 $0$ 、二歩目 $1/2$ 、三歩目 $0$ 、四歩目 $3/8$ .....(段々減ってくる)

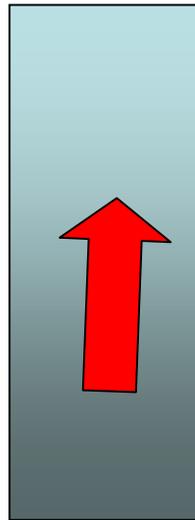
# 重力のもとでの落下運動

- 分子の衝突：抵抗力
- 重力のもとで重力と抵抗のバランスで沈降速度が決まる



# 拡散による流れ

- 濃い方から薄い方に流れる
- 重力のもとでの落下と、拡散の流れが釣り合う。



# アインシュタインの関係式

- 溶媒の抵抗力
- 拡散のは速さ
- 温度による濃度分布
  
- これらを測るだけで、アボガドロ数が決定できる！

# 光量子説

- 光は電磁場の振動である。Maxwell方程式
- 光は「光子」という粒からできていて、たくさんあると、その存在確率が振動的な変動をする。1個の「光子」のエネルギーは光の振動数に比例する。
- 光電効果：金属に光を当てると、高い振動数（紫外線など）の場合に、エネルギーの大きい電子が飛び出す。Lenard(陰極線の実験で1905年ノーベル物理学賞)の実験

# その後と平和運動

- シラードとともにルーズベルト大統領に原子爆弾開発を進言
- 戦後深く反省をする。
- 1955年ラッセル・アインシュタイン宣言「核兵器廃絶を訴える」(死の直前)
- 湯川教授に涙を流して懺悔したと言われている。