

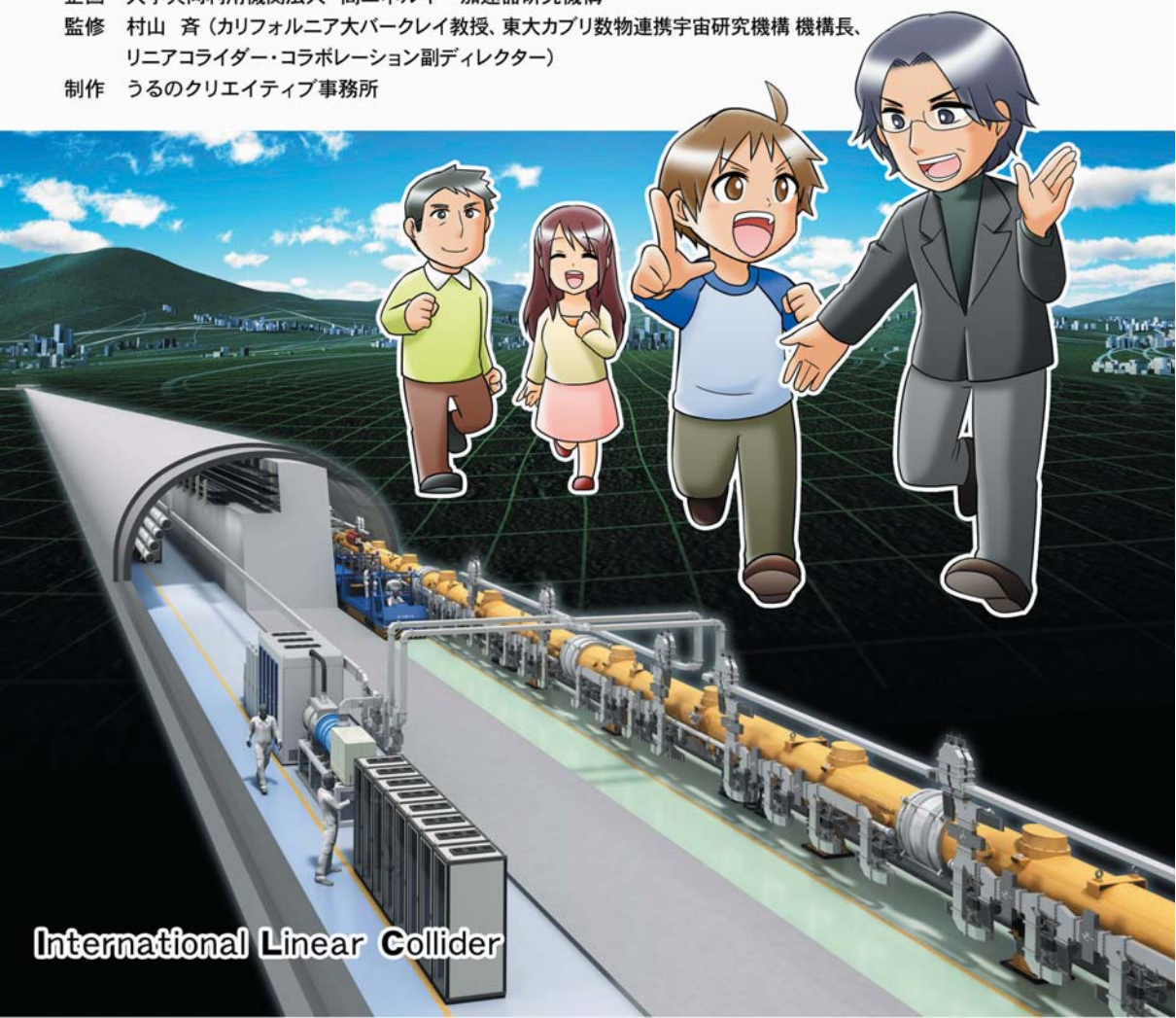
「世界でただ1つの未来の加速器」を楽しいマンガで紹介！

宇宙をつくる加速器 [国際リニアコライダー] がやってくる!?

企画 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構

監修 村山 斉 (カリフォルニア大バークレイ教授、東大カブリ数物連携宇宙研究機構 機構長、
リニアコライダー・コラボレーション副ディレクター)

制作 うるのクリエイティブ事務所



International Linear Collider

「世界でただ1つの未来の加速器」を楽しいマンガで紹介！

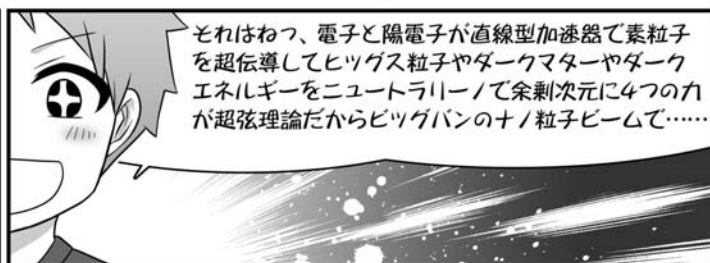
宇宙をつくる加速器 [国際リニアコライダー] がやってくる!?



企画 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構

監修 村山 斉 (カリフォルニア大バークレイ教授、東大カブリ数物連携宇宙研究機構 機構長、
リニアコライダー・コラボレーション副ディレクター)

制作 うるのクリエイティブ事務所

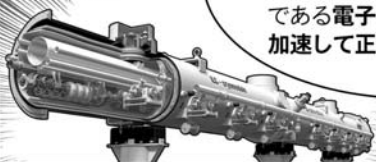




……っていうか、
加速器ってナニ？

あす！

ILC計画の超伝導
クライオモジュール
(イメージ図)



加速器というのは、粒子に大きなエネルギーを
与えて加速させる装置です。

ILCでは、この世で最も小さい素粒子の1つ
である電子と陽電子を、光速近くまで
加速して正面衝突させるんです。



……電子と陽電子
って小さいの？

小さいっていうより、
大きさが無いんだよね。

そこまで
小さいのか!!

その電子を約10キロかけて、
ほとんど光の速さにまで
加速させ……



反対側からも陽電子を
同じように加速させて……



最後の4キロの直線で
粒子が一点に集中するように
絞り込んで……



ド真ん中で衝突
させるんだ!!



ず、すごい
実験ね!!

な、何のために
そんなコトを!?

宇宙の謎を解くためさ。
この宇宙はビッグバンという超爆発で
始まったんだけど、この実験は
ほとんど「ビッグバンを再現する」
のと同じなんだ。

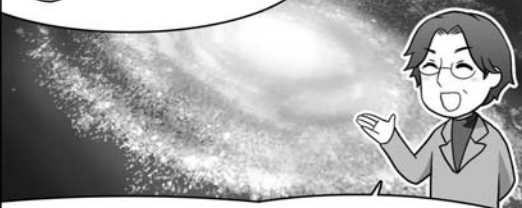
■ビッグバン

約137億年前の宇宙誕生の
最初期に起こった爆発的な
膨張。



?????

よ～するに宇宙を
創っちゃうってコト。



そう。宇宙を創ってみて、この世界がどんなふう
に成り立っているかを調べていくんです。

そうすれば宇宙がどのように生まれて、今日の姿に
至ったのか、その謎に大きく迫ることが出来るという
わけです。



うん、物質に重さがあるのはヒッグス粒子（ヒッグス場）があるからなんだ。
もしもヒッグス粒子がなかったら、ボクの身体を作っている粒子だって光速で飛び散っちゃうんだよ。

こわっ!!

発見されてよかった〜〜!!

……しかし、発見するだけでは十分ではないんですよ。

「ヒッグス」とひとことでいっても、実は多くの可能性があるんです。それにヒッグスはひとつじゃないかもしれない。
ヒッグスの性質のわずかな違いが、宇宙を解き明かすためのとても貴重な情報なのです。

それを知るためには
ILCが必要なんだよ!

ダメってわけじゃないんですが……

LHCは陽子を使う加速器だから……ちょっとねえ……

どうい
こと?

そのヨーロッパの
加速器じゃダメなのか?

それは……

……陽子がこのチェリーパイ
だとすると……

……中のサクランボが
素粒子……

我々は、この素粒子＝サクランボ
同士がぶつかったときに何が起
るのかを知りたい……

そこで……

ぶつけるっ!!

どっせい!!

わああああ!!

……でもチェリーパイをぶつけると、パイ皮とかジャムとか余計なものまで飛び散ってしまうんですよね。

この状態の中からサクランボ同士のぶつかり方だけをチェックするのがLHCの方法なんだけど……

むちゃくちゃ大変だな……

つ〜か散らかさなつ!!

そう! それでILCなんです!

ILCは陽子じゃなくて電子と陽電子という一番小さい素粒子を使う加速器だから、余計なモノを散らかさないでサクランボとサクランボをぶつけられるわけです!

……とにかく散らかさないで。

でも、なんでILCは真っ直ぐなんだ? セルンの加速器とかは丸いのに……

おっ、いい質問ですねっ!

円形加速器は、円周上をグルグルと周回させることで長い加速距離を得られるのですが、そのためには粒子を曲げて飛ばさなければなりません。

■円形加速器
(サイクロトロン)



■円形加速器
(シンクロトロン)



だけど曲げると、せっかく粒子に与えたエネルギーが減ってしまうという問題があるんですよ。だから、できるだけ曲げたくないんです。

それで各地の加速器はデッカインだよ。セルンのLHCは、円周27キロ(山手線とほぼ同じ大きさ)だし、茨城県つくば市にあるKEKB加速器だって直径1キロ、円周3キロもあるんだ。

■KEKB加速器(茨城県つくば市)の内部。直線のように見えるが、直径約1 km、円周約3 kmの円形加速器。

なるほど、カーブを小さくするには大きくするしかないわけか。

でもILCは真っ直ぐなわけね。

ILCは直線のみで十分な加速距離を得られる線形加速器。

ええ、ILCなら十分な加速を与えるだけの距離があり、曲げないことでエネルギー低下も抑えられるから、軽い電子や陽電子でも巨大なエネルギーを持たせてぶつけることができるんです……!

大電流電子ビームを安定に
加速させる超伝導加速空洞!!

衝突点付近で高さ5ナノメートル
(100万分の1ミリ)に絞り込む
ナノビーム生成!!

超極小の点で起こるビッグバンの
現象を詳細にキャッチする測定技術!!

まさに全世界の研究者が
待ち望んでいた加速器なのだよ!!

……やっぱり散歩
に行くかい?

……日差しが
暖かそうよね~

いいトコなんだから
聞いてよ!!

いや、すごすぎて、
ちょっとアッチの
世界に……

とにかく、そのスゴイのが
日本にできるかもしれない
のね?

うん、そうなったら本当に
スゴイよ!
世界中から研究者が日本に
集まってくるのは確実だし、
世界をリードするようにな
るかも!!

そうだね、こうした基礎科学研
究の応用から、IT、各種産業、
医療など色々なイノベーション
が生まれているわけだし……

……ILCが出来れば、そこが
科学技術の発信地になっていく
のは間違いないね。

研究都市としてのブランド力がついたり、
教育や経済効果の面でもメリットは大きい
でしょう。
経済効果も数兆円規模と
言われていますね。

数兆円!?
きや~!!
ILCが出来たら、
その場所に引つ
越そうかしら~

で、でも安全なんですか?
日本は地震も多いし、
その……粒子が漏れたり
とかは……?

パパ心配性
だなあ。

いや、安全面には
細心の配慮が必要
だよ。

ILCはサイズは特大ですが、施設としては他の加速器と同じなんです。日本には大小1400台以上の加速器があるんですが、どれも安全に運転されています。

それに、ILCは岩盤の固い場所の、しかも地下100メートルに作られる計画なんです。そのため、揺れによる影響もかなり小さくとなると考えられています。

固い岩盤

地下
100メートル

ILC

地震が起きれば、すぐに運転もストップしますしね。

そんだけしっかりしてるなら大丈夫そうだな！

でも加速器が壊れたりしたら、何か危険なことがあるんじゃない……？

加速器の実験では、確かに電磁波や放射線なども出ますが、運転がストップすると、放射線の発生もすぐに停止します。

それに、電気の供給も停止するように設計されているので、火災等のリスクも低いと考えられています。

じゃ電気は？
それだけの施設なら電気もたくさん使うんでしょ？

そうですね。ILCの運転に必要な電力は16万キロワットと見積もられていて、これは東京の六本木ヒルズの消費電力の4倍くらいに相当します。

$\times 4 = \text{ILC}$

でも今の電力供給で、十分間に合うと確認されていますし、通常電力消費が大きい時期には稼働を停止するから、心配はないですよ。

電気は停電にならないように、かなり多めに作られています。溜めておくことは今のところできないため、必ず余剰電力が生まれています。このためILCを稼働させても地域の電力が不足することはありません。

新しい発電所も作らなくていいわけだな。

それで……
実際に日本にできそう
なんですか？

……はい！

もちろん候補地は日本だけじゃありませんが、元々日本は、素粒子物理学と加速器技術では世界でも有数の国ですから、ILC建設の候補地として大きな期待が寄せられているのです。



**宇宙を
つくる!?**

マジで!?



ILC 全長31km! 世界最大の加速器!

International Linear Collider

国際リニアコライダーのしくみ



これが世界中の力を結集して作られる加速器「国際リニアコライダー」です!

約1km

ダンピング・リング

● 電子の超伝導線形加速器

濃いグレーのラインが電子を加速する超伝導線形加速トンネル。

ま、まさに最先端技術の結晶だ!

日本にできればサイコーだねっ!

● 陽電子の超伝導線形加速器

薄いグレーのラインが陽電子を加速する超伝導線形加速トンネル。

● 超伝導加速空洞

小さな電力でも高電界を発生することができる超伝導加速空洞は、お鍋をいくつもつなげたイモムシ状をしており、短い距離で大きなエネルギーを粒子に与えることができます。



● 測定器

加速器で光速に近いスピードに加速された電子と陽電子（電子の反物質）は、衝突点の中心でぶつかり、エネルギーに転換された後、なんらかの素粒子が生まれます。

この衝突点にあるのが測定器で、衝突の瞬間を詳細に測定します。ILCでは、検出方法が違う2種類の測定器が設置されています。

● クライオモジュール

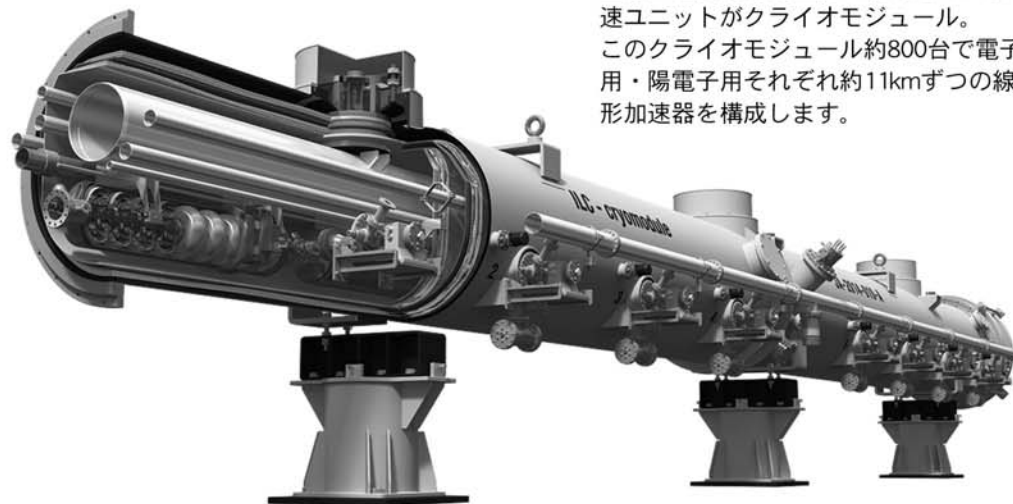
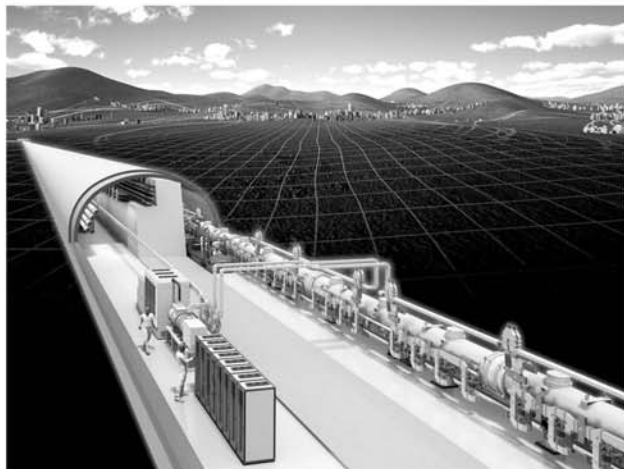
上記の超伝導加速空洞を組み込んだ加速ユニットがクライオモジュール。このクライオモジュール約800台で電子用・陽電子用それぞれ約11kmずつの線形加速器を構成します。

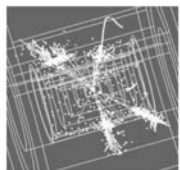
● ILCが創る未来

ILCが日本にできれば、世界中の研究者、学生が日本に集まることになります。

現代社会を支える各種産業、医療、ITなどの技術の多くが素粒子物理学の研究から生まれています。

ILCは全世界的な「知の拠点」です。日本にILCができるということは、世界の技術、文化、教育の発信地となることであり、雇用や経済の面でも大きな力となっていくでしょう。





ILC用語集

衝突型加速器

加速器は、電磁波などを使って粒子にエネルギーを加え、粒子を加速する装置のこと。衝突型加速器は、加速した粒子同士をぶつけるタイプの加速器で、衝突した粒子がつくり出すエネルギーのかたまりから噴出する様々な粒子を観測する。加速器で加速された粒子が速ければ速いほど、より大きなエネルギーを作り出すことができ、より珍しい粒子が生成される。

ILCでは、電子と陽電子をそれぞれ極限速度である光速近くまで加速して、宇宙初期に迫る超高エネルギーの世界に到達する。

超伝導加速

ある種の物質を極低温に冷やすと、電気抵抗がゼロになる「超伝導」状態が生じる。これを利用して粒子を加速するのがILCで採用されている超伝導加速方式だ。

超伝導素材のレアメタル「ニオブ」でつくられた空洞にマイクロ波を送り込んで電場をつくり、電子や陽電子のビームを加速する。-264度C（ILCでは-271度Cで運転される）まで冷却されると空洞の内表面が超伝導状態になり電気抵抗がなくなる。電力損失や加熱が起こらないため、小さな電力・短い距離で大きなエネルギーを粒子に与えることができるのだ。

ナノビームの生成・制御

ILCのビームは、非常に薄いリボンのような形をしている。その中に電子や陽電子が100億個も入っているのだ。ビームのサイズは、衝突点付近で高さ5ナノメートル(100万分の5mm)。水素原子わずか100個程度という小ささだ。こんなに小さくするのは、ビームの中の電子や陽電子の密度を高くして、衝突の頻度を上げるため。電子や陽電子は大きさが無いくらい小さいので、100億個といってもビームの中はスカスカなのだ。

ILCでは、このような極小ビームをつくる技術、さらにビームの衝突位置のズレをナノメートル精度に制御するという超絶技術が駆使される。

● 素粒子とヒッグス粒子

現在の科学では、素粒子が世界をつくるもっとも基本的なものと考えられている。これ以上割ることができない最小の物質のことだ。標準理論に登場する素粒子は17種類。物質をつくる粒子、力を伝える粒子、そして、質量を与えるヒッグス粒子だ。

ものに質量（重さ）があることは実はとても不思議なこと。私たちの重さは、私たちを形作る原子の中で素粒子クォークが光速で飛び回っている

「運動エネルギー」だ。ところが、私たちが日頃お世話になっている電子にも質量があることがわかっている。でも、電子は素粒子、つまり中身が無い。その中に運動エネルギーを持っていないのだ。

ではなぜ電子は質量があるのか？そこで考え出されたのが、真空の中のヒッグスによって電子が邪魔をされて動きにくくなった、と考える理論なのである。ヒッグスが本当に真空中に存在するのであれば、大きなエネルギーを投入して、ヒッグス粒子をたたき出すことができる。

これがまさにILCが目指している実験だ。

ヒッグスは他の粒子とは全く異なる粒子だ。その特徴のひとつが「スピン」という性質を持たないこと。どうしてこんな粒子なのか？ 仲間はいないのか？ ヒッグスの秘密を探るためには、超高性能の加速器ILCが必要なのだ。

● 標準理論を超える理論

現在、素粒子物理学で広く受け入れられている理論の枠組みが「標準理論」だ。この理論で予言されながら唯一見つかっていない最後のピースが「ヒッグス粒子」。2012年7月4日、このヒッグス粒子らしき新しい粒子を発見した、というビッグニュースが欧州合同原子核研究機関（CERN：セルン）から飛び込んできた。

「最後のピースが見つかったの？ じゃあ、これで素粒子のことは全部わかってしまったの？」

いや、そうではない。標準理論はとてもよく今の宇宙を表しているけれども、理論的には多くの矛盾を持っているのである。宇宙の物理現象をきちんと理解するためには、標準理論を超える新しい理論を創らなければならないのだ。

「超対称性理論」「複合粒子理論」「余剰次元理論」など数々の有力候補理論がある。そのうちのどの理論が正しいのか？ その謎を突き止める最適な実験道具として期待されているものがILCなのだ。

「世界でただ1つの未来の加速器」を楽しいマンガで紹介！

宇宙をつくる加速器 [国際リニアコライダー] がやってくる!?

■発行日 : 2013年3月29日発行

■企画 : 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構

■監修 : 村山 斉 (カリフォルニア大バークレイ教授、東大カブリ数物連携宇宙研究機構 機構長、リニアコライダー・コラボレーション副ディレクター)

■制作 : うるのクリエイティブ事務所 (<http://www.urutaku.com/>)
構成/原作/ディレクション/各種デザイン/編集: うるの拓也
キャラクターデザイン/作画: 高橋まさえ
仕上げ/着色/各種アシスト: 佐々木真知

(c) www.form-one.de

(c) Rey. Hori / KEK

(c) Takuya. Uruno / URUNO CREATIVE OFFICE

お問い合わせ先: リニアコライダー・コラボレーション広報担当
(高エネルギー加速器研究機構広報室内)

電話 029-879-6247 FAX 029-879-6246

E-mail communicators@linearcollider.org

「世界でただ1つの未来の加速器」を楽しいマンガで紹介！

宇宙をつくる加速器 [国際リニアコライダー] がやってくる!?

