

国際リニアコライダー計画の見直し案に関する検討委員会（第 24 期・第 7 回）  
 ・同技術検証分科会（第 24 期・第 7 回）合同会議  
 議事録（案）

日 時： 平成 30 年 10 月 10 日（水） 13:00～16:00  
 会 場： 日本学術会議 大会議室（2 階）  
 委員会出席者： 家委員会委員長 米田委員会副委員長 田村委員会幹事  
 西條委員会幹事（スカイプ） 上坂委員 杉山委員（スカイプ）  
 永江委員 平野委員  
 分科会出席者： 米田分科会委員長 嘉門分科会副委員長 中静分科会幹事 家委員  
 西條分科会幹事（スカイプ） 田中委員 望月委員  
 参 考 人： 細谷裕参考人（大阪大学名誉教授、大阪大学大学院理学研究科招へい教授、  
 大阪大学総合学術博物館湯川記念室特任研究員）  
 オブザーバー： 道園真一郎氏（高エネルギー加速器研究機構加速器研究施設加速器第六研  
 究系主幹）  
 道園氏随行者： 早野仁司氏（加速器研究施設・教授） 照沼信浩氏（加速器研究施設・教  
 授）山下了氏（ILC 推進準備室・客員教授） 宮原正信参考人（高エネル  
 ギー加速器研究機構加速器研究施設研究支援員）  
 事 務 局： 犬塚参事官ほか

【公開審議】

道園氏（オブザーバー）から、トンネル湧水処理、環境配慮等についての追加説明が行われ、次のとおり意見交換が行われた。

嘉門分科会副委員長：トンネルの湧水処理について、管理排水と非管理排水とに分けて明確にご説明いただいて、よく分かったと思う。ところで、これ水平の直線トンネルなので、湧水は基本的にはポンプリレー排水でアクセストンネルまで持ってくるという、そういうことで理解をしている。特に非管理排水は自然流下に委ねるということだが、湧水量が多い場合は、流下勾配が取れなくて詰まってしまうという危険性があるので、これもできたときに湧水量を測定しながら調整するというようにして、電源喪失時にきちんと排水するような対策はやはり取っておく必要があると思う。

それで、非管理排水が電源喪失時に自然流下でできるなら、定常時だって自然流下させたらいいので、それがうまくいけばポンプリレー排水する必要なんかは全くないということ、整合性が取れるんじゃないかなと思う。

道園氏：その辺については、恐らくサイト、これ河川に流すといったときに、水がどれぐらいかにもよると思うが、サイトにその水を全部流していいのかとか、それはやっぱり実際のサイトの詳細として詰めていく話なのかと思っている。

嘉門分科会副委員長：ただし、湧水を河川に流すのは、これは結局建設に際しての環境アセスメントも含めてきちんと説明しないといけないので、それは実際掘ってみないと分からないところがあるが、想定した上で了解を取らなきゃいけない話だと思う。無駄にやる必要はないので、実際に合わせて適合したシステムをつくられるといい。ただし、管理排水と非管理排水をきちっと明確に分けるということについて、細かくご説明されたんじゃないかなと思う。

望月委員：非管理のほうの排水だが、要はトンネルの覆工に圧力がかからないようにしたいということだと思う。地下水を常時抜くことになるので、数字が頭に入っていないので分からないけれども、周辺というか地山の地下水への影響が一つあり得る。それから放射化がどこまで起こるかという問題があるが、仮に覆工の外まで影響が及ぶということになると、その辺りを流れている水を非管理として処理するわけなので、そこも気になる。後のほうの話は、チェックはするというふうに表のほうには書いておられるので、念のためチェックをするというので説明がつくと思うが、前半の部分、地下水の影響の方は私も良くは分からないが、住民の方々といろんなトンネルでもめているので。

道園氏：放射化という意味か？

望月委員：放射化ではなく地下水の低下。これは結構もめているので、いっそのことお金は少しかかるかもしれないけれども、水圧に耐えられるようにウォータータイトでつくるという方法もあると思う。どちらが良いのかよく分からないが。

道園氏：多分、その辺は専門家の方の先生のご意見を踏まえて、予算との兼ね合いで考えるのだと思うが、考え方として一つはアクセスホールから揚水したものを山に戻すというような、そういった考え方もあった。どういったかたちにするのが一番水に戻すのにいいのかということはあると思うが、それは実際のサイトを検討した上で、いろいろ検討していく必要があるかなと思っている。

望月委員：山に戻す事例は、私はあまり聞いたことがないが、懸念としては、地下水低下で障害が起こるのではないかと、沢水が枯れるのではないかと、必ず出てくる話ではあるので。さらに、どのくらい水が出るかはつくってみないと分からないというところもあるので、もめる要素には当然なる。もう一度構造全体をどうするか、ウォータータイトにする

いう案を含めて検討したほうがいいように思う。ただしお金はかかる。

道園氏随行者：追加の情報だが、ご指摘はまさにそうで、現地では、今の候補地では水門調査というのをやっており、必要があればそれも提出させていただくことになる。それで、水の量に関しては、想定している量というのは、この前も申し上げたとおり、花崗岩地帯でのトンネルの日本の平均で、現在考えている候補地というのは、それよりは工事の実績値から見ても水の量は少ないということで、最大値を見積もって今設計を進めている。それにプラスして水門調査というのをやっているということである。

米田委員会副委員長・分科会副委員長：私は管理排水について教えていただきたい。1つ目は、管理排水を安全確認後に揚水・排水と書いてあるが、このとき安全ではないとわかった場合には、どういう処理をして排水されるのか、もう一つは、これはビームダンプの水は入っていないと思われるが。

道園氏：ビームダンプの1次側は入っていない。これはどういうものかということ、こちらの側溝にたまった水のことで、基本的にはこれは空の状態である。

米田委員会副委員長・分科会委員長：ビームダンプの水は入っていないと思うが、ビームダンプの水も、いろんな災害が起こったり、故障が起こったりして、漏れることもゼロではないと思うが、事故のときの水の処理はどうするのか。また、運転が終わった後、放射化された水がたくさん残るわけだが、それをどう処理するのかというのを教えていただきたい。

道園氏：まず、われわれの例だと、この1次貯留タンク、KEKのところのKEKBとかJ-PARCとかあるが、基準を超えた例を私は知らない。だから多分基準は超えないと思うが、基準を超えた場合には、少量であればアイソトープ協会に引き取ってもらうとか、そういうことはできる。それからビームダンプの水については、これは運転停止後のお話だと思うが、運転停止後にどういう扱いをするかだが、基本的には放射化したものについては、国の基準に従った廃棄物の処理施設に持っていくというお話をしたが、少量であれば、今までも液体についても放射化物を引き取ってくれた例がある。放射化物の埋設施設というのは大体300年監視するということになっている。トリチウム水だと120年あれば濃度が1,000分の1になるので、それぐらいになるまで監視するということができるのであれば、埋設施設に合わせて引き取っていただくというのも視野にあると思う。

あるいは、安全な場所にタンクをつくって保管するか、どちらかだと思う。

米田委員会副委員長・分科会副委員長：もう一つは、事故とか故障が起こって、ビームダンプの窓が壊れて、ビームダンプの水が吹き出したとき。この間は途中でシャッターが下りて、

それで防ぐというようなお話だった。

道園氏：一応ビームパイプの中に閉じ込められるという想定をしている。

米田委員会副委員長・分科会副委員長：そこにたまった水はどうするのか。

道園氏：その水は、量にもよると思うが、管から出して、まずはこういうタンクを置くところに持っていき、ろ過した上で再利用するというのが一番いいと思っている。

米田委員会副委員長・分科会副委員長：ろ過できるのか。

道園氏：ろ過というのは、要するにほこりとかそういったものをとり除いた上で回すという、そういう意味である。

米田委員会副委員長・分科会副委員長：相当トリチウムは入っているのではないか。

道園氏：トリチウムは入ったままビームダンプで使い続けるということである。

米田委員会副委員長・分科会副委員長：私が聞いているのは、そこが故障して、ビームダンプの水がトンネル内に吹き出したときはどう処理するのか、ということである。

道園氏：それは、水をまず回収する。回収した水がどれぐらい汚れているというのは、つまり例えば金属がどれぐらい入っているか、それによつてと思うが、使えればそのままビームダンプを冷却するところに戻すというのが一番単純な話だと思っている。

米田委員会副委員長・分科会副委員長：金属片を除いて、またビームダンプのタンクに戻すということか。

道園氏：それが一番シンプルで、一番いいやり方だと思っている。

家委員会委員長：今のその話が出たついでに、ないとは思いますが、1次冷却水が漏れた場合、真空パイプの中にたまる。それを取り除く、そういう作業のときに、人はどこまで立ち入ることを想定しているか。

道園氏：前回の放射線の量を見たときに、ビームダンプの一番窓のところから1メートルぐらい離れたところで、確か5ミリシーベルトパーアワーぐらいだったと思うが、その辺

までは多分アクセスできる。基本的には、水を抜くというところまではリモートでやって、それからビームダンプのダクトを交換するというところも、もともと窓を交換するとき一体となって交換するというかたちを提案しているところなので、基本的にはビームダンプの窓を取り外したところからアクセスすればいいと思うが、ビームダンプ窓の 1 メーターのところまでは多分アクセスすることはできると思う。

家委員会委員長：どのくらい放射化が進んだ段階でということと、あと漏れた量にもよると。

道園氏：それにもよると思う。

家委員会委員長：そこに人が近寄れるかどうかで技術的困難の度合いが大きく異なる。

道園氏：ビームダンプの場合は、ビームが当たるところが非常にローカライズしているので、離れるとぐっと落ちるとするのは前回お見せしている。

家委員会委員長：それから大変細かい話だが、そもそもトンネル内、外側の導水路、青いやつ、その上にある破線の矢印は何を表しているのか。

道園氏：これは、万が一ここがいっぱいになったらこちらにあふれるという、あふれるような仕組みをつくっておくということである。

家委員会委員長：そうすると、あふれてしまうと、その管理水が桁違いに増えるということか。

道園氏：どれくらいあふれるかにもよるが、設計時点ではあふれない程度の大きさにしておく設計をするわけだが、万が一あふれた場合も、サービストンネルでこれを受けとめようと、それは前回ご説明したサービストンネルが冠水するということは許容するというお話である。

中静分科会幹事：確認みたいなものだが、日本の場合は、このヨーロッパの例ほど平らな場所に建設することは多分できないだろう。それは具体的な場所が決まらないと分からないことでもあるが、候補地のお話を聞いてもそうだと思う。今回のケースは、要するに法アクセスにはかからないけれども、法アクセスと同じようなやり方を自主アクセスとしてやるという理解でよろしいか。

道園氏：LHC ではそういうことをずっとやってきたということである。

中静分科会幹事：その場合に、ちゃんと配慮書段階から複数案を示してやるということによろしいか。

道園氏：はい。

中静分科会幹事：自己アセスでも、事後モニタリングもされるという理解でよろしいか。

道園氏：はい。

### 議題 1. 参考人ヒアリング

細谷参考人から「ヒッグス結合の精密測定が、現状の素粒子物理学においてどのような位置づけにあるのかなど、素粒子理論の状況」について説明が行われ、次のとおり意見交換が行われた。

田村委員会幹事：9 ページだが、超対称性理論だったらずれがあり得るというお話だったが、今までわれわれが聞いてきた、例えば浅井参考人の前回のお話とかだと、そこはかなりしつこくお聞きしたが、ここで ILC で 10 年ぐらいしっかり走れば、本当にそれでずれがなければ、もう超対称性ということはまずないだろうと、そういうお話だったが、先生はどうお考えか。あり得るという。

細谷参考人：多分 2 つあって、2 つに分けないといけないと思う。超対称性というものそれ自身があるかないかということと、それから実際にみんなが言っている、LHC とかそういうレベルで言っているエネルギーのスケールで見つかるかどうか、その 2 つである。

LHC のレベルでは、今まで低エネルギーの物理というか、1TeV とか 10TeV とかそれぐらいで、それ以下のところで超対称性があるかということについては、かなりこれまで LHC でいろんな実験がされてきて、また将来ハイルミ LHC でもっと正確に分かると思うが、現在のところは見つかっていないし、非常に難しくなっていると思われる。もちろん、超対称性自身があるかないかという点については、個人的に聞かれると、究極的にはあると僕は思っている。もっと上のエネルギースケールにあると思う。低エネルギーにあるかどうかと言われると、そこはちょっと人によって意見が違うと思うが、自然にはまずない、僕はずっと上のスケールで見つかると思う。

それで、9 ページであり得るとちょっとぼかして書いているのは、確かに有識者会議のレポートなどでは、超対称性だったらちょっと上に出るという記述があったと思うが、それはいろんな理論のパラメーターをある値に選んだときにそうなるということだ。超対称性が破れるスケールは分からなくて、それが大きくなればなるほどその効果は見えにくくなる。

だから、たとえ見えなくても、それで超対称性理論が死ぬというわけじゃない。

超対称性については、僕はLHCなんかのほうが、いろいろもっとこれから実験をやって、はっきりと分かると思う。

永江委員：3ページのところで、4ページのところで議論されていることで、強い力も含めた統一というのが大統一という目標として掲げられているということだと。ILC はあくまで電磁力と弱い力のところの統一の話ということだと理解したが、その強い力も含めた大統一というのを検証するというようなことは、方向性としてはあり得ないのか。

細谷参考人：ILC ではあり得ないと思う。

永江委員：ILC じゃなくて、素粒子物理の今後の方向として、その電弱の統一というのを見ようというのが ILC であると、それは理解したが、だけどその先に大統一というものがあって、それをやるのにとって何がいいかというようなことは何かあるか。

細谷参考人：それはいろんなやり方があって、例えばニュートリノの実験とか、それからいろんな宇宙論からくるいろんな制約とか、いろんなことで、その大統一の構造が間接的に見えてくる領域はいろいろある。例えばよく、ここでも報告されていると思うが、例えば宇宙のバリオン数、粒子が何でこんなに多いのかとか、そういう問題はやっぱり大統一まで本当に行かないと多分分からないし、ニュートリノの実験、カミオカンデで陽子の崩壊をみるとかそういうこともいわれている。それを調べるのはやっぱり大統一とかそういうのを探るため。

もちろん、もっと間接的にはいろんなニュートリノの実験なんかでいろんな構造が今どんどん分かってくる。そういうデータから、もっと上のエネルギーのスケールの物理の何を反映しているのかもわかるかもしれない。いろんなことがいわれていて、ニュートリノのセクターとクォークのセクターで混合の仕方が全然違うとか、そういうことがいろいろある。そういうものが自然に出てくるというのは、やっぱり本当はもっと電弱統一よりも上のところへ行ってやっと分かってくることで、これは何かヒントになる。ILC 自身ではこの点については多分何も言えないと思うけれども。それともう一つ、ILC は電弱統一だけを調べるんじゃない。ヒッグスの部分、ヒッグスの性質を調べるとのことだが、さらに僕が言いたいのは、ILC でもうちょっと上のスケールも実は間接的に見えてくる。それは、ここで書いている大統一じゃなくて、もっと下のエネルギーで、例えば 10TeV とかそういうところで何か新しいものがあるかもしれない。そこは実験をやってみないと分からない。

素粒子物理学では、何かを見つける。実験の人は何らかの手段とか何らかの装置を使って、それで新しいものを探す。そのときに理論屋が予想、予言していることだけじゃなくて、いろいろあらゆる可能性を探って、ときには偶然何かの細かいちょっとしたヒントから何か

新しいものを見つけ出すということを今まで歴史的にやってきた。そういうものを与えないと、そういう手段を与えないと、結局何も分からないと思う。

杉山委員：先ほどの田村委員会幹事かな、関係するが、8 ページ目辺りに細谷参考人が経験されたさまざまな発見というのがあるが、これらの発見はどれも直接的な発見であって、ILC で期待される間接的なものではないということで良いか。

細谷参考人：はい。

杉山委員：では、こういう間接的な実験の価値というものを考えたときに、これまで直接発見に対して、このような精密測定みたいなもので、次の直接的な発見に結びつくような大きな寄与をした例というのはあるか。

細谷参考人：それはあると思う。もともとこういう、ここで書いているジェイプサイとかトップとかも、他の実験からあるだろうと予想されていた。例えばジェイプサイというのは、チャームクォークというのは4番目のクォークだが、実はその4番目のクォークがなかったら理論がコンシステントでない。いろんな観測事実、他のデータからチャームクォークがないと困るといのはもともといわれていた。その当時のいろんな細かいことから、例えばケイオン（中性 K 粒子）の性質を調べれば、どうもやっぱりチャームクォークというのがないと困るとか、そんなことがいわれていた。それと同じように、今度の ILC で、何か e プラス e マイナスの実験で、標準理論からずれてくるというのをちゃんと見れば、それは何か新しいものがあるというのは強く示唆するわけで、次にどこを探すべきかという道筋が見えてくると思う。

杉山委員：そうすると、もし仮にこのずれがあった場合はそれで面白いからいいとは思いますが、このずれが見つかった場合の次の素粒子物理学実験の発展として、例えば 100TeV の LHC 拡張版を必ずやるとか、そのためのドライビングフォースになるということによろしいか。

細谷参考人：もちろんそう。ヒッグス結合の確認でどうなるか、ずれがどういうパターンで見えてくるかというのにもよると思うが、それでずれが見えれば、それを説明するためにはどうなっているべきかという方向性は決まってくると思う。実はその 100TeV の LHC 拡張版だけじゃなくて、僕はもっと他のところでもそういうずれが見えるんじゃないか、さっき言ったいろんな e プラス e マイナス衝突を使うと、LHC では全く測ることができない干渉効果というのをきれいに見ることができる。だから、10TeV から 20TeV のところに、20TeV はちょっと難しいかもしれないけれども、それぐらいのところになんか新しい粒子がある場合に、その効果が、かつ普通の標準模型で出てくるプロセスと絡むようになっていたら、

それはいろいろ見える。間接的だが、かなり面白い。

杉山委員：逆の聞き方をすると、仮に ILC がなかったとしたら、素粒子実験はその 100TeV をつくったり、その 20TeV、30TeV のところを詳しく見たりすることはもうやれないということになるのか。ILC がなかったとしたら何が起こるのか。

細谷参考人：ILC がなかった場合、当然多分ヨーロッパでそういう電子陽電子加速器とか、あるいは中国でもそういうのはつくられるかもしれない。そういうものが全くなかったとしたら、結局 LHC でできるのは新しい粒子をつくる、高エネルギーでつくるというのが一番メインで、だから単純にもうちょっとエネルギーを上げるかというふうになるかもしれないけれども、その線だけで迫るのは、僕は間違っていると思う。多分そこで引っかかって、次の加速器はなかなかできないかもしれないし、そうなる素粒子物理学は僕は停滞すると思う。

田中委員：素粒子分野、物理学分野じゃないので、かなり低級な質問、でも一般の人には分かりやすい質問をしたいと思う。今、杉山委員がされていた質問、私もまさにその質問からスタートしたいと思うが、ILC がいないから高エネルギー物理学が次のステップに行けないとは、分野外だが、思っていない。

ハイルミノシティの LHC だって、基本的にはヒッグスファクトリーである。それと、そもそも LHC でヒッグスが見つからないと最初いわれていた。あんな汚い複雑な反応の中から、いろいろな進歩を重ねたことで、結局イベントを探しだしてきているわけである。だから、基本的にはここで言われていることだって、複雑な現象の中に組み込まれているわけで、それをどうやって探してくるかということは、技術的な話ではないのか。ちょっと乱暴な言い方だが、原理的な話ではない。それはさておき。

先ほど来、この 3 ページ目で、これは多分宇宙が物質、反物質でできているときに、低いエネルギーレベルから、この図で下に向かって（大統一に向かって）調べていけば、最後にわれわれは全宇宙を理解できるということがベースにあったと思う。最近、物質というのは宇宙の数パーセントしか占めていないというエバリュエーションが出て来た。基本的に物質世界を突き詰めていくのだからすごく大変で、さっきの 100TeV、1,000TeV、ずっとこの図の大統一に向かって下に下がっていかうとすると、基本的には今のテクノロジーでは到底地球上で実験なんかできないようなエネルギースケールになっていく。そもそも、ILC がこちょこちょとアクセスするのは、重箱の隅ではないのか。この図の下に下りていって、本当に実証しようとしたら、とてもじゃないけれども、その先ものすごいアップグレードが必要になるし、それとてたかだか宇宙の数パーセントの話の説明するだけだ。じゃあダークセクターとどうカップリングしているのかとか、そもそも全体像をちゃんと記述するようなセオリーというのは全然ないと理解しているが、高エネルギー物理がどこに向かうのか、こ

れから何をしていくのかという大きな話の中で、ILC というのがどう位置付けられているのか全然分からない、さっきから聞いていて。非常に細かいところで、いろいろと微係数が分かると言っているが、そこからの微係数で本当にその先の行きたいところにどうやって行くのか。結局 ILC で出た実験結果がいくらあったとしても、多分無理だと思うが、そのところはいかがなものか。

細谷参考人：もちろん ILC で全部分かるわけじゃない。一つの手段にすぎないと思う。暗黒物質とかそういうのはまた別のやり方で調べるし、宇宙のことも、衛星による観測とかいろんなことでやるし、重力波も使うし、いろんな方法、手段がある。その中の、いっぱいある手段の中の一つにすぎない。かつ、その一つの手段で非常に微小なところしか分からないと言われるけれども、そうじゃなくて、われわれは微小な進歩を重ねてやっと現代にたどり着いている。

田中委員：もちろんそう。だから、そこは全くアグリーする。否定しないけれども、今問題になっているのは、その局所的な微分係数を取るときに、100 万円でできるのだったら、絶対誰も反対しない。じゃあその一ステップを刻むのに、今額面では 6,000 億とかといわれているが、それはもう額面上の数字で、実態としては多分何倍にも膨らみますから何兆のお金になる訳だが、それは妥当なコストなのか。そういうお金を本当に投資するということと、サイエンティフィックなアウトカムというものが釣り合うのか、そこが問われている。費用対効果じゃないが、もちろんこれが安ければ、誰だって反対しないわけで、どんどんやれということになる。引っ掛かるのはそのところ。全体像における ILC の位置付けからすると、分野外の人から見れば、やっぱりとてもお金がかかるとしか思えない。要するに、今の物理の大きなストラクチャーの中で、かなりがしっとしたところがこれで分かるというのだったならば、なるほどと理解するのだが、説明される物理的成果が、これだけのお金をかけてもやるべきかという感じがする。先ほどの話を何回聞いても、それをやるのにこのお金が本当に必要なのかというのが納得できない。私を納得させることができる説明をしていただけるのであればお願いしたい。

細谷参考人：納得させられるかどうか分からないけれども、一つ言えるのは、ILC は LHC とは違うということ。調べられることが違うということ。まず一つ、ヒッグスのほうについて言えば、ヒッグスの分をちゃんと調べるということ。それで、標準理論が本当にそれで正しいのかどうかというのはチェックする。そこはどう転がるか分からないけれどもチェックする必要がある。その細かいところは多分私は完全に理解しているわけではないが、LHC ではなかなか難しいと思う。

それと、あともう一つ。実は他にもなんか構造があるんじゃないかというのが、僕が言ったことだが、実際やってみないと分からない。さらに先ほど触れた未知の粒子を探るとい

ところで言ったのは、原理というものから考えると、今の標準理論というのは不完全で、そこをどういうふうに克服するかというので、一つの考え方として、例えば余剰次元とかそういうのがある。それは単にいい加減にそう言っているわけじゃなくて、理論的には、今日はここでは何も言っていないけれども、ゆくゆくはひも理論とか、そういうものでないと重力まで含めて説明できない。それは理論的には分かっているけれども、そういうひも理論というのは非常に特殊で、2つの要素がある。一つはわれわれの時空の次元が4次元ではなく、10次元とか11次元とかでないとうまく理論がつかれない。それともう一つ、絶対に超対称性が要る。今のところ、ひも理論は現実の世界とは全く結び付いていない。けれども、現時点でいろいろ調べてみると、このヒッグスのセクターの不完全性というのが、実は余剰次元のほう、時空の次元が単に4次元ではないということに結び付いているかもしれない。それは調べてみないと分からない。もしも何かそういう兆候が見えたら、それはまたすごい大変革。その一步を踏み出すためには、ILCも一つ大きな道具になって、LHCにはできないことができる道具である。

確かに、これだけの費用を使って、そんな価値があるかと言われると、そちらのほうはちょっと説得力のある説明ができないが、非常に新しい認識、自然の認識が生まれてくるかもしれないし、われわれはそういう自然を知りたいわけで、それが将来何の役に立つとか、そういうことは考えていない。お金の額と比較されると、そこは僕はあまり答えられない。

田中委員：ものすごくお金がかかっても、みんながこれはやるべきだと思えるような、コンセンサスが取れるようなストーリーを語っていただきたい。一応先ほどの図に示されたストラクチャー（4つの力の統一）がまずある。最終的にはこれを全部説明する理論をつくるということが、多分物質世界の中でのターゲット。その後で、このときには予測できなかったダークセクターまで含めて、全体をまとめて説明するようなものへと進展していくのが自然、いずれにしても。そういう大きなトレンドが、まず少なくとも今見えている、おぼろげながらあるわけで。そういうことからすると、今コストダウンをするために250GeVまで下げたけれども、加速エネルギーというのはもっともっと高いエネルギーが必要になってくるのではないか。それとも要らないのか、これ以上高いエネルギーはもう必要ないのか。僕は必要であると思っている。プランクスケールにアクセスしようとしても、現状のコンベンショナルな加速器のテクノロジーでは届かない。だからいずれにしたって、このままやっていると、ILCで調べるというあの周辺（電弱スケール）しか多分届かないのではないか。だからそれこそ、そういうことをしていたら高エネルギー物理が衰退するんじゃないかと危惧する、逆に言うと。違うのだろうか。

細谷参考人：それは違っていて、250GeVでやって、なんかちらっとずれというか、標準理論で説明できないことが見えてきたら、それはそのときにいろんな観測をやって、方向性が決まる。先ほど言った干渉効果を見てと言ったけれども、あれは実際250GeVでそれが見

えたら、それを 350GeV にしたら、もっと効果が大きくなる。どんどん分かってきて、いろんな情報が出てくる。だから、もちろん今の加速器の技術でできるところは限界があると思うけれども、それには全く同意するけれども、できる範囲で見てやるより僕はしょうがないと思う。他の手段も使って、宇宙のこととかそういう中からいろんなことを総合して、さらに基本的なところに行こうとするけれども、物理として本当にわれわれが生きている間に確かめられるのはここら辺である。この大統一の兆候みたいなものが何かの現象で見えるかもしれないけれども、それ以上はすぐには無理だ。

田中委員：これまで 2 分の 1 世紀ぐらい掛けて、あそこまで人間はたどり着いているわけだ。これは、ここまで加速器が発展したお陰だろう。ただ、もう今かなり行き詰っている。次のステップに進もうとすると、根本的にベースのインフラストラクチャー（加速器システム）をある意味ではアップグレードしないと、次のエンジンに切り替えないと次のところには進めない、今そういうかなりトランジェントな状況だと私は認識している。そういう意味では、現状のコンベンショナルなテクノロジーで作る最後の巨大な加速器になるかもしれないわけで、ILC が。私が考えるに、次につくるものは、違うテクノロジーを使って、次のステージにジャンプするべきだろう。そして、日本がこの ILC を進めた場合、この転換期に、過去の技術による最後の加速器をつくったみたいな話になるかもしれない。それでも、もちろんいろんなことができるかもしれないが、現在の ILC のデザインに拘らずに、その先を見据えたネクストステップにチャレンジするという選択肢はないのか。そこが非常に疑問としてある。今 LHC は動いているわけだし、LHC のハイルミノシティのアップグレードは、それはもう ILC よりは明らかに視野に入っているわけである。ILC がないとできないとさっきからコメントされているけれども、根本的なところで ILC が大きなコントリビューションをもしするのだとすれば、なぜ日本がつくらないとどこもつくらないのか、そこが釈然としない。

細谷参考人：それは多分以前のこの委員会でいろんな人が説明されていて。

田中委員：いや、そこは納得していないから。だって本当に必要ならば、別に日本が駄目なら他のところがやるというような話が出てきてもしかるべきだと思う。

細谷参考人：それは、例えば CERN でつくれるかという話で、それは原理的には別のデザインでやれる可能性はある。けれども、今は LHC をアップグレードして、さらにその次の上の加速器を考えているわけで、基本的に世界で同じものを 2 つつくる必要はないということだと思うが。

田中委員：日本がつくれば、それはもちろんいいが、日本がもしこけた場合に、もしそれほ

ど必要なものであれば、どこかが、じゃあ日本が駄目だったらわれわれがつくるみたいなおとになぜならないのかということ。

細谷参考人：部分的にはそういうことも考えられると思う。ILC と同じデザインにはならないと思うけれども、いつ作るとか、そこは私の見識不足でよく分からない。

家委員会委員長：その点は、国際的には日本がこけたとは思われていないからだと思うが。関連した質問だが、250GeV のレプトンコライダーというのは、かなり微妙なところにあるような気がしている。これが 1TeV 必要だとなったら、もうこれはリニアしかあり得ないと思うけれども、250GeV だとリングでもできる、100 キロリング、例えば、100 キロメートルリングをつくって、レプトンコライダーを実際にそういうのが中国あるいは CERN で計画があると思うが、リングの場合には、そのレプトンコライダーの使命を果たした後で、ハドロンコライダーにコンバートするという明確なシナリオが描ける。リニアコライダーの場合は、もちろんトンネルを延長すればいくらでも原理的にはエネルギーは上がるけれども、250GeV の ILC で 1%2% の精度で何かずれが見いだせればいいけれども、見いだせなかったときに、つまり大体パーセントオーダーで物理が見えなかったら、次の物理はもう 10TeV よりずっと上のほうにあるというふうに判断して、それはいいのだろう。そうなること、ILC を延長しようというインセンティブがなくなるのではないかと。

細谷参考人：ヒッグスの精密測定だけに狭めるとそうなるが。

家委員会委員長：今まで、少なくともわれわれがしてきた質問は、ヒッグスファクトリーとしてヒッグス結合を精密測定すると。その結果によって次の素粒子物理の行くべき道が決まる、というのがメインであるという説明を受けた。それは多分正しいんだろうと思うが。それで、10 ページのほうで、干渉効果を使って未知の物理を探る、それにしても、未知の物理が 10TeV とかそのぐらいになれば見えないのではないか。これはどこまでプローブできるのか。

細谷参考人：例えば、これは 250GeV と 500GeV しか書いていないが、例えばこの 250GeV から 500GeV にしたら、ずっとずれが大きくなる。これだけじゃなくて、いろんな量があって。そこで言いたいことは、10TeV の新粒子とかは直接はつくれなくても、すごいいろんな細かい情報、新粒子とのカップリングとか、そういうのが分かってくる。エネルギーを上げればもっと顕著に分かる。

家委員会委員長：それは理解しているつもりではあるが、もちろん。

細谷参考人：それで、ヒッグスの精密測定は、もちろんずれが見つければ、かなり制限がついて、新しい方向性というのがだんだん分かってくる。ずれが誤差の範囲で見つからない場合は、これはよく分からない、ヒッグスだけ見ていたのではよく分からないということになる。それは何も標準理論がいいということも意味しない。だから、ヒッグス結合の精密測定だけにフォーカスしてしまうとちょっとまずいと思う。

家委員会委員長：細谷さんの見解としては、ヒッグス結合でずれが見つかる、見つからなかった場合でも、この干渉効果でもって見つかる可能性が非常に、むしろそちらのほうが大きいという考えか。

細谷参考人：そう。それで、特にヒッグスの精密測定というのは、実は 2,000 フェムトバーンインバースぐらいのデータが必要。それに対し、これは 250 フェムトバーンインバースでもこういうふうに見える。だから最初の 2~3 年で見えるはず。

家委員会委員長：これで何を見ているのかがよく分からないが、何か特定の粒子。

細谷参考人：これは電子、陽電子をぶつけて、例えばミューオンペア、これのクロスセクションを測る。それでいろんなことを調べるのだが、ここでプロットしたのは単に全断面積の比だけだが、これが 1 からずれたらスタンダードモデルからずれている。それで、例えばこれでもポーラリゼーション（偏極度）を変化させれば、例えば電子を右巻きにしていくと、ずれがずっと大きくなって、これが誤差だが、それが有意にずれるのが見える。

家委員会委員長：その赤と青は。

細谷参考人：赤と青は、理論のパラメーターで、理論にパラメーターがあつて、それによって違ってくる。KK スケールといって、次のエネルギーのスケールがちょっと違ってくるが、これが青の場合は大体 7TeV ぐらいで、こっちの場合は 8TeV から 9TeV とかになる。そういうパラメーターはあるけれども、こういう風にははっきり見えてきて、もっと他のいろんな角度分布とか、そういうのを調べていくといろいろなことが分かる。実際に一つのシナリオでこうなると言っているだけで、もちろんどうなるか分からないけれども、初期の段階でこういうものを調べることはできる。実際の実験では全部データを取る。ヒッグスだけじゃない。こういう干渉効果の測定というのは LHC ではできない。

家委員会委員長：この実験には偏極がエッセンシャル。

細谷参考人：電子の偏極はエッセンシャル。

家委員会委員長：陽電子の。

細谷参考人：陽電子の偏極については、実はこのプロセスについて言うと、ここで P エフェクティブと書いてあるのは電子と陽電子の偏極の度合いで決まる有効偏極度で、実は陽電子は偏極しなくても、その場合はこれが電子の偏極度になるが、それを変えて実験をやれば、この差がざっと見えてくるはず。そういうふうにしていろいろ調べる。これをいろんなプロセス、ミューオンの場合だけ書いたけれども、他の粒子、ボトム・反ボトム対とかいろいろ調べれば、もっといろんな情報が引き出せる。こういうことは、やっぱり電子陽電子衝突加速器の強みであって、これは LHC ではできない。

家委員会委員長：具体的に、例えば今書いてある  $Z^{(1)}$  とか  $\gamma^{(1)}$  というのは、どんなものを想定して。

細谷参考人：ここで自分のモデルを紹介するのはちょっと気が引けるが、実はヒッグス粒子は 5 次元のゲージ場の一部で、われわれの時空は 4 次元じゃなくて 5 次元目もあるという、そういう立場で、ゲージ原理からヒッグスを説明しようという立場から出てくる。そのような高次元の理論では、必ず全ての粒子に対してカルーツァ・クライン (KK) モードというものがあり、余剰次元のほうにぐるぐる巻き付くような励起モードが必ず出てくる。その質量が大体 7TeV ぐらいになる。これは非常に大きいので直接生成はできないけれども、こういう干渉効果なら見える。LHC でもハイルミノシティー LHC でも直接生成が少しできるけれども、イベントの数がものすごく小さい。だけど、こういう e プラス e マイナスのマシンだと、この干渉効果自身が非常にきれいに見える。そういう特徴はおおいに使うべきだと思っている。これは 2 年ほど前に分かったことだが。

永江委員：余剰次元というのが粒子と絡んでいるところが、もう一つびんとこないが。余剰次元の次元数が変わったときに、そういう粒子のスペクトルとかも変わるようなものなのか。

細谷参考人：そこは詳細による。例えば、ストリング理論を聞かれたことがあると思うが、超弦理論といわれるものだが、それは 10 次元、11 次元で整合的に定義される。だけど、実際にわれわれが生きている世界で見ているのは 4 次元。その間というのはどういうふうになっているかというのはよく分かっていない。急に 10 次元が 4 次元までいって、カルーツァ・クライン (KK) モードがあるのか、そうじゃなくて、もっと段階的にでてくるのか、そこら辺はよく分かっていない。それはモデルの詳細による。余剰次元があれば、必ず KK モードといわれる余剰次元の方向に励起したモードが絶対に出てくる。その一番小さいエ

エネルギーのものが見えてくるということ。

家委員会委員長：本当に標準理論からのずれが全く見えなかったら非常に困る、ナチュラルネスの観点から非常に困ったことになるというのはよくわかるのだが、そこで人間原理にいつてしまうのかどうか、よく分からないが。例えばフラットネス問題に対してインフレーションというシナリオが出てきたような、そういう画期的なアイデアというのが出てくる可能性はないか。

細谷参考人：それは私もそう思っている。標準理論のずれがなければ人間原理にいくというのは間違っていると思う。

家委員会委員長：そこをぜひ聞かせていただきたい。

細谷参考人：単純に普通の科学者の態度として、人間原理を持ち出した時点で、科学者としては失格だと思う。ヒッグスの精密測定をやって、仮に標準理論とほぼコンシステント、実験の誤差の範囲で整合しているとなったときに、それが本当に今の標準理論のままで良いことを意味するかというと、僕はそうは思っていない。実はここで書いた理論も、今の実験データとか観測データとはコンシステントになる。その差はここで書いた微小なずれだ。そういう考え方からいくと、ヒッグスとのカップリングのずれは1%ぐらいにしかならないので、実は2,000 フェムトバーンインバースのデータを集めたとしても、ぎりぎり確かめられるかどうか分からないぐらいところである。ヒッグスのほうでは目立ったずれはないけれども、このように新しい粒子が出てきたり、その効果が見えたりする。理論的な見地からいうと、今の標準理論というのは非常に不完全だと思うので、これで終わるわけではない。実際に他の事実、例えば暗黒物質とかインフレーションとか、そういうことを考えると、今の標準理論で終わるわけがない。それがどこで見えてくるかというのは、はっきり言えないけれども、いろんな理論があり、そのどこかのきっかけをつかみたいわけだ。加速器では LHC とか ILC があり、あるいは衛星観測でいろんな宇宙のことを調べたり、重力波の実験をやったりとか、そういう方法で他の情報を得てくる。インフレーションについては、ちょっと分かりかけているのが今の状況だ。そうすると、インフレーションやら暗黒物質があるとしたら、今の標準理論のままでは絶対無理で、ちゃんとうまく組み入れないと駄目である。その組み入れ方というのは、今のところ分かっていない。それはわれわれ物理屋に対するチャレンジである。何らかの理論というか根拠があるはず。

田中委員：最も美しい対称性の話ではないけれど、美しいストーリーとしては、先生がそういう理論を構築して、このエネルギーでこれを見れば次の扉が開くみたいな話であれば、そこに向かって ILC をつくるというのは結構盛り上がると思うが。現状は、どこに扉がある

かも分からなくて、きっかけを探したいという状態。理論的な裏付けもないし、よく分からない。それで、ともかく ILC をやってみて、幾つかの可能性があって、そのどこかに引っかかったらこっちの扉、こっちの方向性、そういうちょっと混沌とした状況のように聞こえていて、もうちょっとなんかしっかりした目玉があるといいなと思うが。

米田委員会副委員長・分科会委員長：ちょっと前にさかのぼって教えていただきたいが、確か 5 年前にこの ILC の計画が最初に学術会議に出てきたときは、500GeV でやると新粒子が発見できるかもしれないし、ビッグバンの再現に向けての画期的な研究施設になるという説明だったような気がするが、資料を読むと。その説明は、5 年前にさかのぼると、今でも正しいのか。

細谷参考人：それはその後の実験の進歩で、LHC でいろんな実験をやってきて、今のところ例えば超対称性粒子は見つかっていない。5 年前はまだ多分見つかるだろうと思っていたから。

米田委員会副委員長・分科会委員長：5 年前は、学術会議は時期が早いということでストップをかけたが、その判断は適切であったということか。

細谷参考人：そう思う。

米田委員会副委員長・分科会委員長：5 年間でヒッグスが見つかって、LHC でいろんな発見があって、見直しになったと思うが。そうすると、田中委員が言われたように、一般の目から見ると、5 年前は画期的なことが起こるというから、巨額であることに何となくまだ説得力があったような気がする。今は 250 になって、ずれが見つかる、見つからないと言われても、一般の人にはそれが画期的に見えないというのが正直な感想である。もう一つは、細谷参考人はヒッグスファクトリーだけではなくて、未知の粒子を間接的に発見できることが大事だと言われたけれども、逆にヒッグスファクトリーを横において、その未知の粒子を間接的に探るということに重点を置くと、何 GeV が一番適正なのか。それは 250 なのか。

細谷参考人：それはもちろんエネルギーは高いほうがいい。

米田委員会副委員長・分科会委員長：それは 500 なら 500 のほうがいいということになるのか。

田中委員：それはそう。

米田：250によるヒッグスファクトリーが一番いいと、ヒアリングにきた先生たちが説明されていたので、私はそうかと思っていたが、それだけじゃなくて、未知の粒子を間接的に探るのも大事だという話を聞いた。そうすると、前提条件が違うのかなと思ったので今の質問をした。

【非公開審議】

議題2. 論点メモに基づく議論

- ・回答案の策定に向けて、論点メモに基づき議論を行った。

議題3. その他

- ・特になし

(閉会)

## 国際リニアコライダー計画の見直し案に関する検討委員会（第8回）

### ・同委員会技術検証分科会（第8回）合同会議

#### 議事録（案）

日 時： 平成 30 年 10 月 16 日（火） 10：00～12：00  
会 場： 日本学術会議 大会議室（2階）  
委員会出席者： 家委員会委員長 米田委員会副委員長 田村委員会幹事 上坂委員  
梶田委員 永江委員  
分科会出席者： 米田分科会委員長 嘉門分科会副委員長 中静分科会幹事 家委員  
田中委員 望月委員  
参 考 人： 中家剛参考人（京都大学大学院理学研究科教授）  
事 務 局： 犬塚参事官ほか

#### 【公開審議】

#### 議題 1. 参考人ヒアリング

中家参考人から「ヒッグス結合の精密測定が、現状の素粒子物理学においてどのような位置づけにあるのかなど、素粒子理論の状況」について説明が行われ、次のとおり意見交換が行われた。

永江委員： ILC でできる物理の重要性というのは今非常にコミュニティとしても認識しているということだと思うが、一方この検討委員会でこれまで問題にされていたのは、加速器を造る人員をどうやって確保するのかという話が 1 つの課題として考えられていた。大学の研究室とかからそういう加速器関係の人員を供給するというのはどのくらいの規模まではやれそうなのか。

中家参考人： ILC 加速器全体というのは難しいと思うが、実は京都大学の高エネルギーグループは加速器のところにとくさんの人が行っていると思う。例えば私の現在の研究室では、J-PARC の加速器で学生が携われるビームモニターとかビームのフィードバックとか、そういうことだったりするけれども、そこに大体年 1 人ぐらい修士の学生がいて、その中で博士に進んだりする学生もいる。博士に進むと物理のほうをやったりするが、大体年 1 人ぐらいいる感じ。ただし、永江委員が言うみたいに加速器をやる研究グループは減ってきているとは思う。うちはニュートリノ実験のビーム増強ということで加速器に今も携わってはいる。だから、全体の意見というのは分からない。

嘉門分科会副委員長： 今日 ILC 計画に関連して人材育成という点で極めて重要なご指摘を

いただいたと思う。別のこれまでの会議の説明を伺っていて、ILC の 250GeV の計画で装置が組み上がって動きださないと全く成果が出ないという話があった。また、組み上げるところにも開発要素はもちろんある。それは当然新しい発明、発見が出てくると思うが、この ILC の計画そのものに関わる人材としては、それよりもやはり組み上がったからの計測が重要だというふうに理解している。そうなると、組み上がるのに 10 年以上かかるわけなので、そういう人材を確保しようということは、中家参考人のご指摘では大学の人材をそういう方向に持っていくというのは極めて難しいというふうに感じ取った。そういうふうにしていくためには、今日の説明では難しいというふうなご意見だと思うが、やっぱりこれを導入したときに、こういう研究に若手を引き寄せるとするか、優秀な人材を吸い上げるためには、どういう工夫があり得るか。

中家参考人：まず、確かに私の学生は難しいと言ったのは、私自身が研究テーマを学生に与えるのが難しいという個人的意見と書かれていたように、決して日本の大学全てがそういうわけではない。例えば一例だが、東京大学の駒宮先生の所とかはリニアコライダの ATF という加速器のところでの開発とかで学生が博士論文を取っている。多分数人の学生が博士号を取ったと思う。僕の前任の笹尾先生の時にもやはり ATF という所で学生が出ているというふうに、各グループによると思う。確かにご指摘のとおり、そういうグループがたくさんあるかということ、そんなにすごくたくさんあるわけではない。これをどうするかというのは、例えば 10 年研究を安定して若手がやれる環境に、今の日本の競争社会、しかも 5 年ぐらいで短期的にゴールを出しなさいという状況で、あるかということ、ないなと思う。

ただ、それがいいのかということ、今学術会議のトップは山極先生になっているが、やっぱり研究の動機から考えて、その研究に没頭できるような環境づくりというのにも必要だと思う。それは ILC の話を一般に言っているわけではなくて、必ずしも 5 年以内に短期的に成果が出ることばかりをやっていると、多分いろんな 20 年先に花が咲く種が全然植えられなくなってしまふので、ILC に対する答えでなくてちょっと話がずれるが、どちらかということ、もっと長期的視点の研究者の動機に従うような研究も育てていけるようになればいいとは思っている。

ただし、ILC を成功させるためには、やっぱり長期的なポスト、例えば技術の優れた人とかプロジェクトマネジメントがちゃんとできる人が必要。プロジェクトマネジメントはトップだけを言っているのではなく、多分中堅どころのプロジェクトマネジメントが非常に大事になってくると思うけれども、そういう人を雇っていかうとすると、それはやっぱり研究所じゃないとしんどいかなという気はする。もちろん大学でも安定的なそういう予算があればできるが、おそらく学生に講義をして学生の博士論文を見ながらやるという職とはちょっとずれてしまうかなと思うので、国家プロジェクトとして例えば ILC が提案されている場合には、そういう長期的なポストのキャリアというのをちゃんと考えて付けたらいいと思う。

いと、今の日本のシステムでは大変だとは思う。

望月委員：中家参考人のご説明の中で 17 ページの「ILC の物理 2」にあるように、ヒッグスのポテンシャルの情報がどこまで引き出せるかという点と 250GeV では難しい。とすると、仮にこのプロジェクトが動いたとして、つまり、トンネルを掘って 250GeV で動かした段階で、不十分だということになる。単純な対応方法はトンネルを長くするという点になるが、追加工事を行って機材を据え付けている間は観測できないわけだから、休止期間が長期に及ぶことになるだろう。また、そのときには追加工事としてトンネルを掘り直すかどうかという判断が必要となるが、果たしてどういう判断をすることになるか、読み切れないところがある。「それなら、最初から長いトンネルを造っておけば良い」と、単純には思うが、いかがか。

中家参考人：先ほどのヒッグスの自己結合を測るのは、ヒッグスポテンシャルの形を決める上で非常に大事であり、そこに新物理への感度があるということで大事だ。そうはいっても、その計画のためにさらに何十年先まで我慢するかという点と、おそらく中国のリングコライダーの計画とかも同じで、ヒッグス粒子が見つかって、125GeV にヒッグスがあるというところで、まずヒッグス粒子を徹底的に調べようというのが現在のヒッグスファクトリーの提案。13 ページ目の所に実は僕もそのところは若干気にして書いているが、ILC 計画と何が違うかという点と、トンネルを掘るのか、もしくは、先ほど 10 年、20 年たった時に超伝導の RF の性能がもっと上がっていて実は同じ距離でエネルギーが上がるという可能性も今のところはあるだろう。技術革新というのがここ 10 年、20 年で起こる可能性は十分あるだろうということなので、トンネルを掘るのか加速器の RF を入れ替えるのかは分からないが、その将来の拡張可能性というのが ILC のリングコライダーに対する有利な点であるというのが多分 ILC 関係者が非常に強調しているところだと思う。

ただし、望月委員が言われたように、この拡張に必要な予算、時間も大きいので、それがどこまで本当に有利な点なのかは分からないというのが私の意見。そういう意味で、CERN が例えば CLIC という加速器を常にまだ開発を続けているというのは、その先の ILC を超えたエネルギーというのも大事になる可能性があるということで開発研究が続いているのだと思う。

米田委員会副委員長・分科会委員長：違った観点でご質問したい。ILC を推進する外部の方々、例えば東北であれば、この施設が来たらすごい技術革新が起こって、これに関連する産業がたくさん勃興したり、国際的な研究都市ができると、たくさんの研究者が集まってくると聞く。素粒子にも多様な取り組みがあるというのを今日教えていただいたので、本当にそういうことが起こるとお思いか。

中家参考人：最後の質問をもう一度お聞きしたい。何が。

米田委員会副委員長・分科会委員長：例えば国際研究都市が、ILC ができた所に世界各国から 1 万人ぐらいの研究者が集まってくるというストーリーとか、そこに設備ができればさまざまな関連する産業が、ILC だけじゃないと思うが、加速器メーカーからもいろんな新しいイノベーションが起これ、産業が集積するというストーリーを聞くが、それについては個人的にどの程度のフィージビリティがあるとお考えか。

中家参考人：今回は物理ということであまりその辺の話は用意していないが、個人的な考えをいうと、例えば外国人がたくさん来るというのは、高エネ研の場合を見たときに年間今延べ何千人ぐらい多分来ていると思う。それより大きな規模では多分起こると思う。高エネ研の例えば 5 倍とかいう規模で起こる可能性は十分あると思うが、その 5 倍が十分かという、それがよく分からないなという気はしている。だから、よく例に出される CERN のケース。CERN というのは国際都市で、たくさん研究者が集まっている。それはおそらく CERN 自身もその機能を持っているが、ジュネーブという町自身がいろんな研究機関を持っているので起こっていると思う。おそらく筑波も似たような話かと思う。

だから、ここは個人的な意見なので本当に感触だけだが、本当に ILC 研究所 1 つでそれが起こるかという、僕はちょっとしんどいと思う。町全体が起こるようなことが必要。ただし、筑波のように、そこに他に何かまたいろんな産業を誘致したりとか、そういう会社とかいろんなものが集まってくるとまた違うのかなと思うが、研究所単独ではやはりユーザー数ぐらいなので、しんどいと思う。

あとは、もう 1 つここは気掛かりなことではあるが、今世界はインターネットでつながったことによって、リモートとかバーチャルな環境で、外からいろんなことがつながるようになってきている。人間がフィジカルにどれだけ集まるかというのは、またちょっと違うのかなと思う。いろんな人が確かに外の世界からそこにつながっているといったときに、物理的にそこに来て生活して子どもが生まれてというのは、その都市機能を持たせようとする、僕の中ではイメージがまだ湧かないというのが正直なところ。

上坂委員：加速器の人材だが、確かに日本だけ見ると多いわけじゃないと思うが、LHC なんかを見ていると世界中から研究者は集まっており、大きなプロジェクトが始まれば世界から集まるかなと。もちろん、この場合 KEK が主導権を取るだろうけれども、世界から集まるんじゃないかなと思う。例えば今、私も加速器学会に入っているが、他の学会に比べてとても若い方の比率が多くて、というのは J-PARC があって、建設でいっぱい雇用されたのだと思う。それが大きいかなと。日本で確かに人材は必ずしも多くないけれども、世界的に見れば ILC に人は集まるんじゃないかとお思いだろうか。

中家参考人：先ほどの J-PARC は、僕は非常に近くでやっていて、しかも実は J-PARC の加速器というのは J-PARC で実験していた人が来ている。先ほど言った、大学に加速器のグループというのがどんどん減っており、加速器専門にやるグループは減っているが、では高エネ研とかの加速器グループに人が行かなくなっているかということ、実はそんなことはなくて、素粒子とか原子核実験をしていた人たちが加速器を道具と考えたときに自分の研究の一環としてどんどん飛び込んでいる。

特に J-PARC に関しては本当に若い人たちが素粒子・原子核とかの実験で博士論文を取って、加速器のほうに行って加速器をやっているという人がたくさんいる状況。その人数が J-PARC は加速器グループ全部で 100 人いるかいないぐらいかなと思うけれども、そのような若い人が、10 人、20 人はいるような感じになっている。ILC でその何倍か必要ということだろう。

そこがちょっと分からないところ。日本で素粒子・高エネルギー研究者会議というのは会員数 800 人ぐらいで、多分学生数は 200 人ぐらい。博士論文を取っている数は 1 年間に日本で 30、40 ぐらいだと思う。だから、その人たちの例えば半分が行くとすると、年間 10 人、20 人が候補者として入るぐらいだと思う。その数で足りるのかどうか、僕も今の質問に対してあまり予備知識がないので何人必要かというのが分からないので、日本の高エネルギー業界の今の段階だとそんなものだと思う。

家委員会委員長：私が疑問に思っていることの 1 つは検出器の問題で、リニアコライダーの場合は衝突点は 1 つ。リングの場合は複数あって、そこに互いに独立なグループが検出器を設置して、複数でコンペティションをやって切磋琢磨するというところに大きな意義があると思うが、リニアコライダーの場合に 2 つのディテクターをプッシュプルで入れ替えるという方式が、素粒子の実験屋にとって現実的なのかどうかということについては、いかがか。

先日この点を質問したところ、片方のグループだけが先に論文を書けないように、割に短い間隔でタイムシェアリングするというようなお答えもあったが、実験屋はそれで納得するのか。別の聞き方をすると、ヒッグスの精密測定という目的が割にはっきりしたときに、そんなに大きく違うデザインの検出器があるのだろうかというのが素朴な疑問。

中家参考人：これは僕もあまりそこまで知らないというか、確かにヨーロッパと日本で ILD という測定器とアメリカ主導のシリコンの測定器があるが、今もすごく強く 2 つの測定器を言っているのかということ。必ず 2 つ必要ということはないのかもしれない。

家委員会委員長：その辺は人によっても違うのかもしれない。ちなみに、今日参考資料として中国の王先生からは「自分は個人的には 2 つというのは反対だ」という意見があったので、その辺は実際に高エネルギーの実験をやられる方はどういうふうに思われるのかな

と、思って質問させていただいた。

中家参考人：僕個人もあまりそこを実は考えていなかったが、特に日本にいて日本主導のときには日本とヨーロッパが共同でやっている測定器の話をよく聞いている。もちろんアメリカグループというの、ちょっと名前を忘れたが、あるが、率直な意見を言うと、1つでいいんじゃないかという気はする。衝突点が2つあって同時期にデータを取れたらいいが、今言った入れ替えや何やらというのでは2つ必要ないかもしれない。

家委員会委員長：あまり効率はよくないのではないかというのが私の疑問。ちなみに、先ほどご紹介した中国の方の意見は、中国にはリングコライダー計画があるから、そっちとコンペティションしようという趣旨が入っているかなと思う。

中家参考人：なるほど。そういうことか。さっきのことに関して、高エネルギー委員会で2つか1つかとか、そんな議論は実はあまりしてこなかったし、僕自身もあまりそこを考えたことはなかった。

田中委員：先ほどから何人かの方が人材の育成というか、ILC に携わる人材が日本で供給可能かという観点でのお話があったので、その文脈からちょっとお伺いする。もともと中家参考人は ILC に携わっていないという立場から、高エネルギー物理学の進め方にも多様なアプローチがあって、そういう多様性というのが非常に重要であるということをおっしゃっていたと思う。もちろん ILC もその1つのブランチとして重要度は当然あると。しかし、スケールは他に比べるととてつもなく大きい、先ほどからそのニュアンスは伝わってくる。上坂委員が主張されたように、もちろん世界的にサプライヤーがいるのだから、そこは埋まるだろうという考え方はあるが、とはいえ、日本がメインプレーヤーというか、ホスト国としてそれなりのリソースを供給していくという、そういう使命があるだろう。

ここで聞ききたいことは、そういう非常に大型のプロジェクトで、他に比べると必要なリソースは1桁ぐらい大きなものが走ったときに、他に多様に広がっているフィールド、それを諦めるということで、そこに一点集中するのであれば可能かなと聞いていて思ったののだが、その辺の兼ね合いというかバランスはいかがなものなのか。

すなわち、ILC が万が一走ったときに、先ほど来、財源のお話とかが主にあったが、ヒューマンリソースの問題も当然出てくるというふうに理解している。お財布が別という話はそこにはないわけで、その辺のところを中家参考人はどうお考えになっているか。

中家参考人：僕の中で、現時点からの推測でいくが、ILC 計画というのが例えば2030年ぐらいからスタートすると考えると、今の日本の素粒子物理学の研究の中だと、1つは、これは勝手に言っていて怒られるかもしれないが、SuperKEKB という B の衝突型加速器の人

たちの実験がその辺りで一段落ついていたら、その人たちと、例えば CERN に行っているが、今実は LHC に行っているコミュニティがわれわれの研究の中で一番大きいけれども、その人たちの半分以上に ILC にもし流れたとしたら、日本の高エネルギー研究者業界の 3 分の 2 ぐらいの人が ILC に流れることになるかもしれない。その 3 分の 2 の数がどれぐらいかという、学生や何とかを入れて、加速器の人を入れていないが、200 とか 300 ぐらいの人数だと思う。その人数が十分なのかどうかというのはよく分からない。国際協力で行うときに、では日本人が一番多い必要があるかという、これはかなりいろいろ大変だけれども、1~2 割は必要だと思うが、過半数を占める必要はないかなと思っている。その 1 つの例は、私がやっている T2K 実験がある。T2K ニュートリノ加速器実験は今 500 人のコラボレーターがいるが、日本人の割合は其中で 100 名ぐらい。だから、20% ぐらいしか実は日本人はいないが、一応国際共同研究として加速器ニュートリノ実験をやっている、ILC の中の日本人の比率がいくらが適切かはここでは答えられない。

普通にも B ファクトリーとか LHC から人が流れると 200 人とか 300 人規模の人は KEK のプロパーな加速器の方を除いて流れて、そこにさらに、KEK の加速器施設は多分 300 人ぐらいの組織だと思うが、それがもし 3 分の 2 ぐらいがそっちに流れると 500~600 という人が集まるのかなというのが僕の頭の中での計算。だが、決して正しいかどうかは分からない。

田中委員：500~600 は多分十分な数じゃないかなと思う。

中家参考人：そうなのか。

田中委員：それだけ集まったら、多分素晴らしい。ただ、物理をやっている方を集めて建設期に ILC に投入するという意味は、物理をやるという意味じゃないけれども、そのところは大丈夫なのか。

中家参考人：さっき言った 200、300 というのは学生を入れた数で、どっちかという、先ほど言った研究所ができた時にやっぱりそこにどれだけの人を雇う予算が付くのかというのに関わってくるかと思う。今言った人数の大半というのは、実は KEK に日本の高エネルギー研究者の 3 分の 1 か半分ぐらいの人数がいるので、そこでの大きな方針の 1 つだと思う。それと、やはり非常に時期によると思う。例えば、今やれと言われても、今は皆さん B に忙しい、J-PARC に忙しいとなっている。10 年後とかに、いろんな加速器の開発要素が、例えば J-PARC も B も開発要素があまりなくなってきたりして営業運轉的なことになってきたときに、次の新しい人たちがどういう開発要素のある研究をしたいかというので動くかというので、ポテンシャル的には今言った人数ぐらいは可能だとは思う。

米田委員会副委員長・分科会委員長：今日タイムスケールの話聞いて、ILCが10年建設して20年動いて30年かけて成果を出すというのに、大学の研究者の方々、今のポストクの時間スケールとは合わないというのは「そうだ」と思った。

ロングタームの実験施設が、例えば別枠で国家から予算を取れたとしても、その別枠で期待されたことは、学術的な実験もあるが、それに付随して地域振興であるとか震災復興であるとか、科学技術都市ができるとかである。長い期間をかけてもこれらの成果が出ないとする。さっき中家参考人が仮定して言われたように、意外にインターネットが普及して人は集まっていない、割に地味な研究施設でユーザーだけが集まってくるようなときに、いつも別枠で30年間にわたり維持の予算を国家が出し続けてくれるだろうか。今日中家参考人のお話を聞いて初めて「それは考えないといけないのかな」と思ったが、いかがお考えか。

中家参考人：僕も国家がいつまでも予算を出してくれるのかというのは、僕自身には分からない。多分この議論でも日本の国家がどうかは分からないけれども、1つ確かなのは多分この議論で上がっていたと思うが、国際的な条約などを整備し各国が毎年出す予算があり、必ずどれだけコントリビューションするかみたいな規約というか国家間の決まりは作っておかないと、それぞれの国がばらばらになると、崩壊すると考える。CERNとかはそれが成り立っているんで、ILCも先ほど最後に「国際何とか」と書いたが、多分持続性を持たせるためには国際協力の最初の出だしというのが非常に大事になる。完全な国際協力といったときには、一国の予算によらないようにしないとイケない。これはITERやいろんな所でいろんな話があると思うけれども、僕自身は、国が長期に渡り予算をどのように確保するのかはあまり分からない。

田村委員会幹事：1つちょっと気になっていることは中国で出てきそうなリングの計画の話だが、単に聞くだけだと、そこでヒッグスファクトリーをやって、それでその後将来的にはそれをハドロンコライダーにして、さらにエネルギーフロンティアに行くというのは非常にある意味拡張性がある。リニアコライダーがもちろん拡張できるといっても、お金もかかるから、そんな桁違いにエネルギーが上がるわけじゃないだろう。

それが実はさっき出てきたエネルギーフロンティアがどこまで持続可能かという話でいくと、単にエネルギーフロンティアという意味ではそのほうが何となくいいようにも聞こえるが、その計画は高エネルギーの人たちの間ではどういうふうに思われているのか。それは要するに、そんなに例えばそれをハドロンコライダーにして100TeVみたいなコライダーを造っても意味がないという、あんまり重要でないというそういう立場なのか、どうなのか。

中家参考人：多分そこはいろんな議論が今起こっているところではあると思う。中国の話

だけが今回出てきたが、実はヨーロッパのほうでも FCC (Future Circular Collider) でやはり同じようにハドロンコライダーのエネルギーを例えば LHC の 7 倍の 100TeV ぐらいまで上げるとか、そこでやっぱり  $e^+e^-$  をやるという話が出ているので、国際的なコミュニティで見たときには、そういう議論が起こっていると思う。

ただ、ちょっと日本と違うところは、ヨーロッパの計画の場合にはまだそういう方向に進むべきかどうかという議論をしている段階で、今から建設を始めるとか、技術的に確立したというものではない。中国の場合は、今急速に技術を追い付こうとしてやっている段階。ただし、先ほどのヨーロッパの計画とかなり類似性が存在しているために、僕の個人的印象だが、ヨーロッパの研究者とお互いちょっとけん制しているところがあるのかなという感じがする。

もう 1 つ、中国のことでみんなが気にしていることは、中国の経済成長が今のまま行くのかということ。つまり、中国にみんなが飛び付いたときに本当にそこも持続可能性がずっとあり続けるのかということも、国際的にはちょっと疑問で、心配しながら見ているところだと思う。あまり答えになっていないが。

田村委員会幹事：フィジックスから見たら、どうだろう。要するに、僕の学生の頃なんかは、とにかくエネルギーフロンティアが一番重要であるということで、みんなエネルギーの高いマシンができれば飛び付いていったが、今はいろいろ違う。ニュートリノもそうだし、精密測定でいろんな成果が出てきて、それでちょっとその頃とは違うのかなと思う。そうなったときに、100TeV みたいなものを造って、やっぱりエネルギーフロンティアが一番大事というふうに思うのかどうかというのが、若干昔ほどではないのかなという気がする。

ただ、100TeV を造るにはもちろんお金はもったかかるわけだけれども、そういうのに対してはそんなに皆さん意義があると、とにかく最も高エネルギーで意義があるというふうに思われているということではないかと思っていいのだろうか。つまり、そういうところに何かあるかどうかというのは、リニアコライダーみたいなものを作って、異常が見えてから行けばいいという、そういう立場なのだろうか。

中家参考人：それは多分二通りの意見があり、どちらの意見も多分同じぐらいの強さで存在しているというのが僕の感触。どちらも同じぐらいの意見が存在している理由は、今エネルギースケールがやっぱり決まっていないということ。最初の僕の発表で書いた、エネルギースケールが分からないというために、100TeV が十分なのかどうかというのは分からない。その意味で、ヒッグスファクトリーが大事と言っている人は、確実にあるヒッグスの所でヒッグスを通して新物理を見ようとしている。これが今研究を進めていこうとしているが、まだ十分でないところ。そのときに最後は多分、ハドロンコライダーが大事かどうかというのは先ほどの Naturalness の話であると思うが、僕は 10 倍と書いた。

家委員会委員長：10倍と書いてある。

中家参考人：ILCが到達するところが、ヒッグス粒子の質量の10倍のエネルギースケールまでILCで探して、そこでなかったから、では超対称性はもうちょっと上で破れている可能性が残る。この辺の議論を、皆さんがどれだけ真剣に取るかだと思う。ただ、おそらく国際的に半分ぐらいの人は、ヒッグスを精密測定することによって徹底的に今の10倍のところまでは何も無いということをやんと見ようとしていると思う。

あともう1つ違うのは、さっきの時間スケールが違っている。今すぐ100TeVコライダーが造ればやるという人は、もしかすると若干多いぐらいかもしれないけれども、多分それは今すぐできるわけではなくて、テクノロジー的にもまだ達成できていないのでR&Dの段階である。だから、その時間スケールがILCの250GeVと100TeVコライダーというのは同じ時間スケールじゃないと僕個人は思っている。

家委員会委員長：中国の100キロリングというのは当初は五十何キロだったのが、ヒッグスが125GeVで見つかって多分概定されたのと、ヨーロッパの100キロ計画を意識して、それに対抗して、そういう設計になっているのだろうと思う。そんな状況だろう。コンセプトual・デザインレポートは出ている。ただ、多分中国の国内プロジェクトという感じなので、あまり国際的な舞台で議論のまな板に載ることは今まではないのかなという感じ。

#### 【非公開審議】

#### 議題2. 論点に基づく議論

資料3に基づいて、国際リニアコライダー計画の見直し案に関する論点について議論を行った。

#### 議題3. その他

・次回会議は日程調整の上、決定することとなった。

(閉会)

国際リニアコライダー計画の見直し案に関する検討委員会（第9回）・  
同委員会技術検証分科会（第9回）合同会議  
議事録（案）

日 時： 平成30年10月31日（水）10:00～12:00  
会 場： 日本学術会議 大会議室（2階）  
委員会出席者： 家委員長 米田副委員長 田村幹事 小林委員 梶田委員 上坂委員  
杉山委員 永江委員 平野委員  
分科会出席者： 米田委員長 嘉門副委員長 家委員 望月委員  
事務局： 犬塚参事官ほか

**議題1. 論点メモに基づく議論**

資料3に基づいて、国際リニアコライダー計画の見直し案に関する回答（案）作成に向けて議論し、次回委員会までに家委員会委員長が整理することとなった。

**議題2. その他**

- ・ 次回は11月14日（水）15:00～17:00に分科会との合同会議をすることにした。
- ・ 次々回は11月21日（水）10:00～12:00に分科会との合同会議をすることにした。

（閉会）

