

津輕海峽連絡隧道地質調査について

正員 國有鐵道技師長付 北村市太郎
(前札幌工事事務所長)

1. 序 言

津輕海峽連絡海底隧道の計画については昭和14年頃から種々検討されて来た。本計画の発案は実に当時国鉄建設局計画課におられた桑原技師によるものである。海底隧道については英仏海峽隧道がナポレオン時代から計画されているが、一部2哩ほど試掘坑を掘つただけで中止されている。また開門隧道が世界最初の海底隧道と云う事になっているが、技術的にはハドソン河底隧道とさして変りはない。もしこの津輕海底隧道ができるとしたら恐らく名実共に世界最大の海底隧道の一つとなるであろう。元來青函間の連絡は当初普通の連絡航路であつたが、その後船車連絡船所謂カーフェリーによる事になつたのである。しかしカーフェリーの方法ではいかにペース、船腹を増やしても現在の航路では片通約500万t/年位の輸送力しか期待できない。また現在3,000tの船で貨車45両、中味貨物300tしか運べない。すなわちいかに効率の悪い輸送方法であるか分ると思う。輸送量が多くなるほどこのロスは大くなる。世論の厳しい反対に遇いながらも青函間航路運賃に実距離の3倍の営業キロを国鉄が設定している理由も分ける。また何と云つても船車の連絡は旅客には乗換その他の不便が多い。それに先般半島の海峽に数箇の浮流機雷が発見されるや、航路輸送は非常な制限を受けている。一朝有事の際はどうかであろう。前の戦争中18隻の連絡船が僅か6時間の空襲で壊滅した事はまだ忘れられないであろう。以上色々列挙する迄もなくもしこの隧道ができたら輸送上は勿論、本道の開発上、また民心安定の上に非常に役立つであろう。本州北海道が陸続きとなる事である。そこで国鉄では本年度から本格的調査に乗り出したのである。現在は先ず基礎調査として地質調査をやつてい

その概要を御報告する。

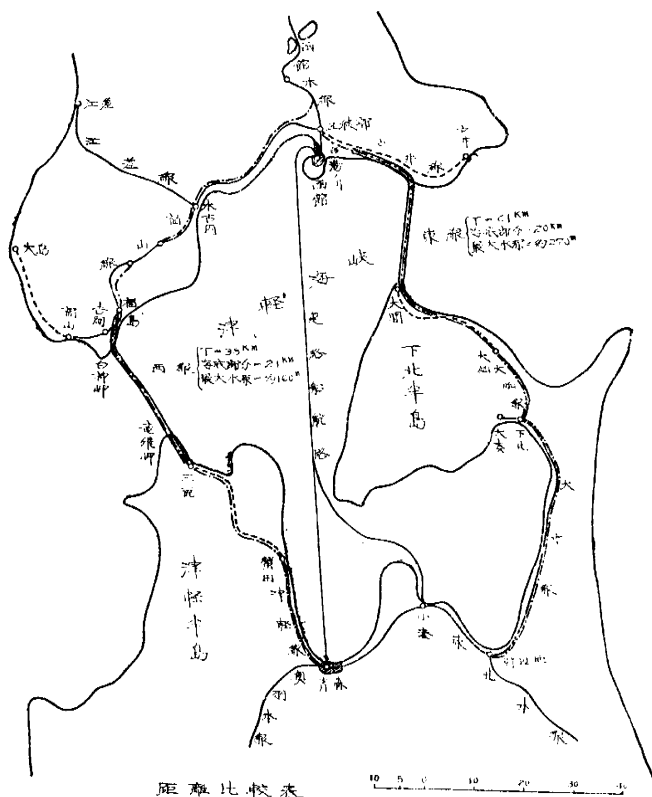
2. 津輕海峽連絡隧道路線計畫概要

本道と本州を結ぶ路線を考えた場合その位置としては最短距離であり水深が浅かつ地質良好な地点を選ばなければならない。これより東側は大間岬～汐首間、西側は竜飛岬～白神岬間の二つの路線が考えられる。

東西両線共に海上の最短距離は約20kmであるが、水深は東線220m以上、西線は160m程度である。地質は両線共に大体第三紀層とこれを覆う火山岩類であると推定されるが東線は地形上海底に断層らしいものがある。

れ、西線では西方に古生層が露出している。

この二つの路線について水路部及び地理調査所の図面にもつき図上選定した路線の概要は次のようなものである。



距離比較表

野辺地 大間 五枝岬	13.4km
野辺地 青森 五枝岬 (陸路)	11.5km
野辺地 大間 五枝岬	20.0km
青森 大間 五枝岬	13.2km
青森 五枝岬 (陸路)	11.5km
青森 大間 五枝岬	11.5km

第1圖 津輕海峽連絡隧道路線略圖

路 線	海上距離	最大水深	地 質
東 線 (大間岬沙首岬間)	20 km	220 m	第三紀層を火山岩が蔽う
西 線 (龍飛岬白神岬間)	20 km	160 m	〃

れによれば東西両線の距離の比較は大差がない。しかし貨物列車は本州北海道間通過貨車組成操作上青森操車場を一旦經由することが望ましい。殊に奥羽線

路線の選定には施行方法の計画と相俟つて考察されなければならぬが、今試みに一案として想定して見ると、次の如くなる。

線路規格は甲線とし、その勾配を下り20%、上り16%として5%の組合とする。

海底下最小鞍りを海底炭酸掘鑿の経験を参考として約100 mとする。勾配を今20%とする時延長は、東線桑畑石崎間41 km、西線三厩福島間約34 mとなり、西線が約短い。また勾配を12.5%とすれば、東線は東畑湯川間約61 km 西線三厩福島間38 kmとなり、西線は約21 km短くなる。すなわち西線は延長に大きな変化なく規格を良くする事ができる。路線の距離を比較するのに、東北線方面に重点をおき野辺地五稜郭間で比較すると、東線140 km 西線170 kmで、表日本經由を考えて青森五稜郭間で比較すると、東線約180 km 西線170 kmである。こ

經由が比較的勾配少ない現在ではなお更である。

次に地質の点では、東線は本州側の下北半島と本道側沙首岬附近との間に地質的变化があり、海底部分に断層があるものと危惧される。西線はこの点比較的安定しているものと想像される。以上を総合して西線が優つているものと考えられるので、一応西線を採用した。先ず西線の想定路線を図上選定してこれにもつて基礎的な調査を行つている。

3. 海底隧道計畫の概要

海底隧道の工法としては、壓縮空気式(シールド)、沈埋式、締切工法等があるが本隧道については、いずれも水深から考えて不可能である。故に全く壓力水の出ない深さを選定して山岳隧道式の掘鑿をする事が必要である。すなわち最も重要な条件として岩質が氷密である事である。従つて水密性と掘鑿の容易さから考えて第三紀層が最も理想的であり、調査は古生層、第三紀層の境界面の深度を探知する事に努力している。海底隧道施行計画は地質の状態が判明してから本格的に取掛る事にしたい。

4. 既往の調査の経過概要

前述の如く現在迄に基本的要因にもとづく東西二つの路線の内比較的地質も安定していると想像されまた延長も短く輸送経路上有利な西線を採用した。先ず西線の想定路線を図上選定してこれにもつて基礎的な調査を行つているが、海底隧道地質としては第三紀層が最も理想的であるので、調査の方向としても先ず第三紀層の位置及び第三紀層と古生層の境界面の深度を探知する事に努めた。

昭和21年以降次のように調査を行つた。

1) 深淺測量

イ) 西 線

22 年 度 3 測線に付き測深

23 年 度 水路局第四海洋丸により測深

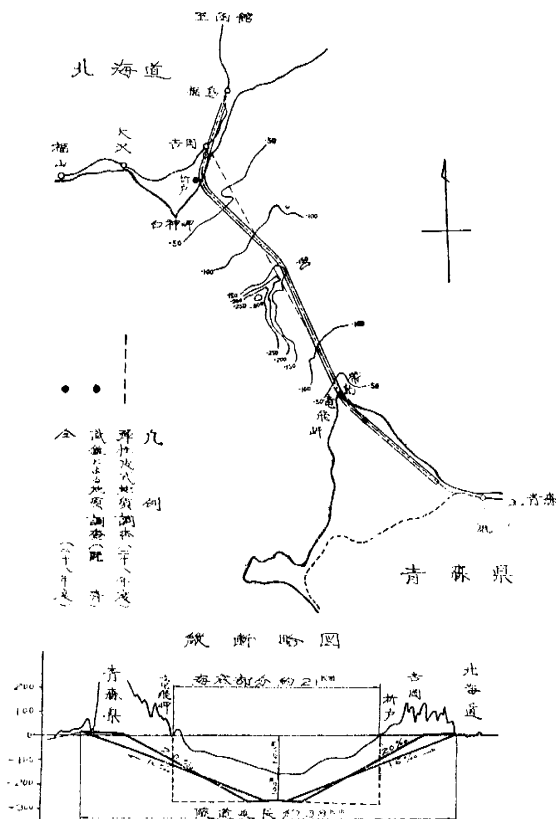
24 年 度 水路局第五海洋丸により測深

水路局に依頼し、測量船第五海洋丸にて音響測深機を用いて、津軽海峡西口附近すなわち西線に対して深淺測量を行い、1/50,000 及び1/10,000 の海図を作製した。

ロ) 東 線

22 年 度 沙首大間間で測深したが既存海図と概ね一致

2) 弾性波式地質調査 西線のみ実施



第 2 圖 津軽海峡連絡隧道西線略図

イ) 本州側陸上部

21 年 度 三 既、竜飛間 10.7 km

23 年 度 試錐点附近 1 km

古生層は西に浅く東に深いことが判明したが、試錐結果と弾性波試験とは深度、方向等が食い違っている。

ロ) 本道側陸上部

24 年 度 折戸、吉岡間 3 km

古生層露頭地点、試錐地点と結んだが測線が短かったため古生層が表われず深度判明せず。

ハ) 海峽部

23年度に中央部 2.5 km を除き隧道中心線に沿って海底部を弾性波調査した。これによれば海底下に170~650 m の厚さの若い地層が連続している。その弾性波速度は本州側 3 km/sec. 本道側 2 km/sec. 程度、その下に 5 km/sec. のものがあり古生層と思われる。海峽中央部は分らなかった。24年度には本州本道側陸上で弾性波試験を実施せるも古生層は検出できなかった。

3) 試 錐

イ) 本州側

竜飛岬南方約 500m の海岸県道上に約 400 m 掘進したが地質は 272.8 m 迄は火山岩及び凝灰角礫岩の互層で特に 157 m 以深には著しい含水層があり、また 272.8 m 以深は緑色凝灰岩の互層で出水もなく地質は良好であったが古生層は現われなかった。

ロ) 本道側折戸に 1 箇所

白神岬東北方約 3.5 km 附近で古生層露頭より約 500m の地点で約 171 m 掘った。主として古生層の深度より傾斜角を推定しようとしたが、弾性波調査に予期された深さには古生層は表われなく、また地質は 80 m 迄は安山岩、集塊岩、凝灰岩、砂岩等が錯綜し漏水や地質不良箇所多く、80 m 以深からは凝灰岩、凝灰角礫岩の互層で概ね地質良好で 134~142 m の礫岩以深は粗粒砂岩で、古生層には達しなかった。

4) 地表地質踏査

東線については本州本道側共 21 年度概略踏査行のみだった。西線については昭和 21、22 年度概略踏査し、本道側は北大資料により 1 万分の 1 地質図を得た。また昭和 27 年 3 月北大佐々教授の踏査により本州側及び本道側の層序と地質図を得た。

これによれば、本道側構造は古生層及びこれを貫く深成成岩類を基盤とし直接新第三紀層の各層が重なっていて概ね東に 20~40° の角度で傾いて横たわっている。以上より考えて海底は古生層を基底とした新第三紀層の下半部特に福山(大戸瀬)~訓縫(追良瀬)層など緑色凝灰岩を主とするものが現われているものと想像される。本州側構造は本道側と同じく古生層を基盤とし中生層古第三紀層を欠き、新第三紀層が直接基盤を蔽い各種火山

岩に貫かれたり蔽われている。南北兩岸の地質層序の対比は多少の差異はあるが、近似しており、一連の地質であると想像されている。また地質構造上も同様な類似が見られる。唯全体としては本道側の方が昇っている事と南北兩岸の構造要素の走向を延長して見ると和すれているようである事及び海峽中央部東西の凹みの急傾斜と考え合せて或は断層帯の存在も想像される。これらについて今後各種の調査を実施して総合判定することとした。

5) 地形測量

本州側は増川竜飛間約 13 km 及び本道側福島折戸間約 7 km を何れも 2,500 分 1 の地形図を作製した。

5. 本年度調査の概要

現在迄の調査の結果(主として東線、西線の優劣比較の結果)所謂西線が 28 年 2 月 18 日建設議会の答中により「三既~吉岡間は鉄道布設法第 1 条別表に追加するの可否について調査するの要あり」と認められ、検討の結果次で第 16 回国会において 法律第 147 号「鉄道布設法の一部改正」により正式に敷設予定線として認められるに至った。

かくて本隧道はようやく世論の強力な支持により本格明調査を進める事となり、7 月予算配布を受け下記の如く調査を進めた。これまでに於ける調査で明らかにされた資料に基づき更に未解決及び要精査の部門を解明する事にした。しかしながら現在の段階においては尙ほ基本的調査すなわち地質調査に主眼をおく事はこれまでと同様である。

1) 弾性波式地質調査

昭和 24 年度と同様の測線を選び、津軽半島竜飛岬と北海道側吉岡とを結ぶ海上(延長約 21.7 km)において中央部約 15 km 間を精査する事にした。

本年度弾性波式地質調査は前回同様この種の調査に多年の経験を有する日本物理探査株式会社により実施され調査法としては距離 100~250 m 毎にダイナマイトを爆発せしめ、この震動を測線両端竜飛岬附近海中及び吉岡附近海中に設置した地震計により測定し、その伝播速度を知り、これより海底の地質状態を解析するものであるが、現地作業は 7 月 8 日から 8 月 19 日迄の内実約 17 日間で発破点約 150 発を行つた。しかし作業は海上であるため、観測記録船(11 ton)、発破船(約 15 ton)、火薬庫及び浮標設置船(約 120 ton)の 3 隻を傭船した。測点の位置観測は本道側に陸上観測点 2 箇所を設けこの間を基線として挟み観測し、各船及び観測点間には無線電話機が設備され、その相互連絡及び発破船の誘導と発破瞬時の回路にも利用し極めて有効に活躍した。位置観測における誤差は地震器の水中音波の到達時間により修正決定した。測定用機器としては次の如し。

名 称	数	型 式	性 能
水中微動計	3	変磁束型	上下動 固有週期 20 cycle
記録装置	2	三連式電磁オシロ	固有週期 3000 cycle
増 幅 器	2	CR 結合 3 段	5~1000 cycle に対し 60db
測時装置	2	電磁音叉	100 cycle $\pm$ 0.0001 秒
発 振 器	1	唸周波	3000 cycle リレー用電波発生
爆破時記録器	2	サイラトロン型	誤差 1/100
無線電話機	5	携帯型	2.8メガ 5ワット

従事員は常時、オシロ係2名、発破係2名、地上観測係5名、無線掛5名、発破係入夫2名と他に船員約15名であつた。

作業は全く海況の良否によりその精度進捗が左右される訳であるが、悪天候に阻まれかつ風波により出動不能もしくは濃霧により観測不能の事が多かつたが、最も影響の大きいのは海峡中央部に於て當時5節以上の海流が日本海側より流入しこれに逆風となるこの季節に多い東風が当つて波浪を生じた時は15ton前後の小型船では延航及び作業の困難が切実に感ぜられた。

現地作業は一応終了しその解析結果の中間報告によると、その地質構造上の各層の速度と地質は次の如くである。

第一層	2.5 km/sec.	新第三紀層
第二層	3.6 km/sec.	古第三紀層
第三層	5.0 km/sec.	古生層

尚海峡中央部に多少緩速度の地帯があるが、測定 of 誤差によるものかどうか判明しない。

すなわち今回の調査により従来懸念されていたような古生層が海底部において隆起露出している事なく、概ね路線の通過する部分は第一層の新第三紀層である事が判明した。これで従来弾性波式調査に果せられていた古生層の全般的分布状態が判明し、海底部には断理の多い、しかも堅硬な古生層があるとは考えられない。今後の調査においては、更に海峡中央部附近において数本の平行測線及び直交測線による精査を要するであろう。

2) 放射能による地質調査

戦後一時中断されていた放射能についての研究はようやく昭和23年米回覧書により再開され各研究機関は競つて放射能の研究及びこれを物理探鉱に応用する研究を進めて来た。その結果測定機の改善には見る可きものがあつた。

放射能を利用しての応用範囲も漸次拡大され、放射能の種類及び強度を検出して地質の種類判別断層断崖接触地帯の境界などの位置方向及び傾斜の探検等に応用されるに至つた。

放射能の放射線には $\alpha\beta\gamma$ 線があり、夫々特徴を有するがこれを特性から分類すると

種類	透過力	イオン化	写真作用	ケイ光作用
α	強	最強 (10,000)	最弱	甚強
β	中	中 (100)	最強	弱
γ	大	小 (1)	甚弱	弱

これらの性質を利用した各種検出器が研究考案されている。

放射能の強弱は一定時間内における放射線の通過量に比例して起きる計数管の放電回数の多少により判断する。

一般に物理探鉱特に地質調査に用いられているものは β, γ 線に対するものが多い。地質調査にこれを利用しようとするには、断層破碎帯或は岩盤の亀裂中にはこれが形成当時岩漿中の放射性物質が含有され、比較的地表面近くに於ており、或は地殻の亀裂からは透過力の強い放射線が放射しているものと考えられる。検出器により放射能の強弱を位置を変えて調査すれば断層線上が他の点に比し感度は最も強く、また境界線が傾斜しておれば傾斜側が反対側に比べ強い。従つて感度の最高点を結ぶとこれは断層線の走行を示す事となり、感度の強弱から断層の傾斜方向をも判定できる。また岩石の判定に利用する場合もあり、塩基性岩より酸性岩が第三紀層よりも石英片岩の方が放射能が強いといわれている。

本調査においては、鉄道技術研究所土質研究室藤田技師その他に依頼した。測定器には γ 線用高性能計数管を使用し地殻の亀裂を通じて地下から放射される放射線の海上における検出感度の強弱を調査して地質の構成状態を探索する事とした。調査区間は海峡中央部約4km間に付いて行われ、測定用船には弾性波式調査と併行して同時に行われた。

当初懸念された放射線の海中を通じての検出の効果は実際には(計数管の性能もあつたが)意外に感度が良好であつた。しかしながらまだ本調査については研究に着手してから日が浅くまた実験記録も少ないので今後の研究及び調査にまつ所が多いと思われる。

3) 底質採集

本調査については東京水産大学新野教授に依頼して同大学練習船神鷹丸にて新野式中型ドレッズを使用して行われたが、このドレッズは開口60cm幅15cm長90cm捲上装置付で船よりワイヤーにより海底に投下して、海底表面を掻き上げるものである。調査法としては資料が採取されるので確実な方法であるが、何分日程に制限されたため予定路線附近を重点的に十数点調査した。その結果はプレパレートに作製し顕微鏡による詳細観察にまたなければならない。

4) 試 錐

予算の関係で本年度は本道側吉岡に予定路線附近に約200 m 程度実施する予定である。今回の目的は前記予定路線に隧道が通過すると考えられる第一層の新第三紀層の地質をコア採取により詳細に解明することである。今後科学の進歩により何とかして直接海底部の試錐を行えないものかと考えている。

5. 結 言

以上本年度調査については全面的に終了した訳でないで経過概要報告に留めたが、地質調査においても残された課題は極めて多く今後の精密調査にまたねばならず未だその緒についた許りである。よつて引き続き明年度以降においても予算の許す限り一步一步着実にその技術的可能性において解明して行かなければならない。勿論か

かる大事業が急速に着手出来るとは思われないが、各種調査研究は進める必要がある。特に海底下の地質については徹底的に出来る限りの方法を用いて調査しなければならない。それには光が弾性波地質調査を主体として底質採取や刻々進歩しつつある放射能調査等の方法を併用し、陸上の踏査試錐を裏付として、着実に実現への技術的可能性への道を歩まねばならない。地質の問題が解明されたならばその実現に対しての道は半ば以上進んだものと云えよう。

今後の調査、研究には広く各界の御援助を求める積りであるが、特に学会先輩諸兄の御教示と御批判を賜りたい。

以 上

隧道コンクリート覆工の新しい施工法

一般に、隧道コンクリート覆工の施工は作業空間が極端に制約されているので、充分な施工をすることは甚だしく困難である。側壁部分はまだよいとしても、拱部特にセメの部分ではきつたコンクリートの品質上からも、又施工能率上からも、在来のように人力によることは好ましくない。ここに新しい施工法が要求される。新しい施工法の1つはコンクリートポンプによるもので、道内では炭礦技術會において大規模の実施研究を終え、機械の構造及び取扱い上立派な結論を得て廣く用いられようとしている。しかしこれとてもスランプ10cmを要し、強度を落さぬようにするには相当量のセメントを必要とする。

又坑道内の岩石の膚落ちを防止する程度の10~15 cm以下の薄い覆工の施工は極めて困難であるといえる。

ここに技術資料第5號に紹介されたイントルーショナルプリバクト工法は、このような場合にも非常に有利であるということが出来る。この工法は先ず完成後所要の内空斷面積を取れるようにセメントを組立て、地山との間に粗骨材を壓搾空氣で填入し、型枠に穿つた孔、あるいは豫め挿入したノズルからイントルーショナルモルタルを注入する。

このモルタルはセメント、Alfesil、砂及びAidを混合したもので、Aid以外のものの配合比はコンクリートの所要強度に應じて、3:1:4, 2:1:3, 2:1:5とし、Aidは常にセメントとAlfesilの混合量の1%である。このモルタルは凝結、硬化は遅いが、收縮を防止し得て、地山あるいは古いコンクリートまたは骨材相互の間の密着がよくする利點があり、制約された作業空間内においても施工は極めて容易である。この場合、注入の關係上、粗骨材の粒度は6~9.5mm以上、砂は2.4mm~1.19mmとする必要がある。

今薄い斷面を考え、粗骨材の最大粒徑を25mmとして、普通コンクリートとプリバクトコンクリートとの材料の所要量の比較を行つて見る。

使用骨材の諸性質を次の通りとする。

種別	比重	単位容積重 (kg/m ³)	粗粒率	空隙率 (%)	吸水率 (%)	粘土塊 含有量 (%)
砂	2.45	1,572	3.22	35.8	0.8	0.4
砂利	2.64	1,770	7.14	33.0	0.1	0.74

材齡28日のコンクリートの所要強度 $\sigma_{28} = 200$ kg/cm²とし、スランプ10cmとすれば次の配合となる(kg/m³)。

セメント	水	砂	砂利	(建築學會論文集, 昭和27年)
353	183	780	1,022	
				w/c = 52%
				G/S = 1.31

この場合、コンクリート1m³中にある砂利の容積は0.578m³に過ぎず、この中の33%の空隙率に相當する0.191m³と1-0.578=0.422m³の和、0.613m³はモルタルが填充すべき空隙となつている。且つこの中に入る砂の實質体積0.318m³を差引けば、セメント糊の全量は0.295m³となる。

今これにイントルーショナルプリバクト工法を應用するものとすれば、砂利は6~9.5mm以上25mm止り、砂は1.2mm以下となるので空隙率は増加し、40%になるものとすれば、この時の單位容積重量はそれぞれ1,584 kg/m³と1,470 kg/m³になる。砂利は1m³のコンクリートには1m³を用いるので、重量は1,584kgとなるが、空隙は0.40m³である。今通常用いる配合で、理論的に砂利の空隙0.40m³を填充すべき砂の量は1,470×0.4=588kgとなる。砂の空隙量は0.4×0.4=0.16m³となり、これをw/c=60%, Alfesil:セメント=1:3のセメント糊で填充するものとすれば、セメント307kg, Alfesil101kg, 水184kg, 即ちセメント:Alfesil:砂の比は3:1:5.8, G/S=2.7となる。これはコンクリートのウォーカビリティを考えなくてもよいことから来る理論配合である。Aidは4.1kgで、w/(c+Al)=45.1%である。28日目の強度は普通コンクリートよりも落ちるが90日には充分追いつく。

セメント量は13%經濟になる。しかし砂利の量が多くなり、砂の量は減じ、各々の粒度の撰別が複雑となる。又覆工裏込め、岩石の裂け目等に入るセメント糊の量が増えるから、それだけセメントにおける經濟性は減ずるかも知れないが、しかしそれだけ完全な施工ができることになり、特に覆工斷面の薄い場合には在来困難とされていた施工が可能となるので、坑道内に搬入する機械設備も輕易となることと相俟つて、隧道覆工施工上新しい面を開拓するものといわれよう。(I.C.H.)