

ペンシルベニア州立大学

武司 秀夫

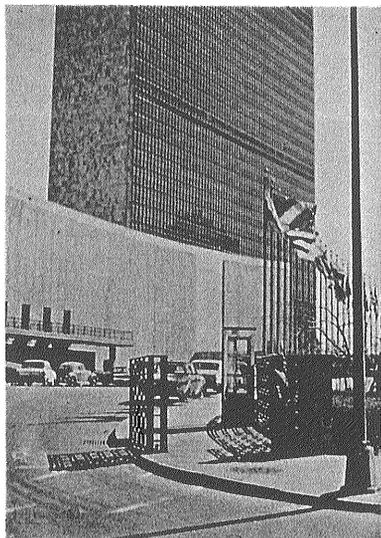
はしがき 国際連合の技術援助計画として いろいろの事業が行なわれているが (たとえば低開発国に専門家を派遣して その国における経済的發展を促進するなどのことが行なわれている) その一環として 各国の行政官 技術者 科学者にフェローシップ (Fellowship) を与えて海外で 技術の習得をしたり 研究・調査する機会が与えられている。筆者は1961年度の国連フェロー (United Nations Fellow) として「窯業原料の鉱物学的研究」という研究題目でアメリカ ペンシルベニア州立大学において 1年間勉学の機会が与えられ さらに引き続いて約3ヵ月間同大学の援助で 研究を続行し 約1年3ヵ月の間 粘土鉱物の結晶構造と固体反応論で 世界的に著名なブリンドレー教授 (Professor G. W. Brindley) の下で 研究に専心することができたことは たいへんありがたいことであった。

最近の海外旅行熱で 米国に滞在したり 旅行したりする日本人は相当な数にのぼり 米国中至る所で 日本人に出会い 筆者の滞米中 日本人に全然会わなかった日は数える位しかなかったように思う。したがって今さら 米国の紹介でもあるまいと思われるが 米国という国はたいへん広く しかも人それぞれ同じことを見たり 聞いたりしても その受け取り方には 大きな差異があり 私の見たアメリカというものも 何らかのお役に立つものと思ひ 以下主として 私が滞在し 勉強した ペンシルベニア州立大学 とくに 私の所属した

鉱産工学部 (College of Mineral Industries) 窯業工学科 (Department of Ceramic Technology) および工業材料研究所 (Materials Research Laboratory) についての印象をお話しよう。

ペンシルベニア州立大学 (The Pennsylvania State University)

国連本部に提出した私の希望が入れられて 米国のペンシルベニア州立大学へ行くことが決まったのは 1962年1月の終わり頃であった。国連本部からの通知と前後して 日頃その卓越した研究業績で尊敬していたブリンドレー教授から手紙を受けとっては見たものの この大学はペンシルベニア州の田舎にあるということだけは知っていたが はたして州の中のどの辺にあるのか知らない始末であった。ステート・カレッジ (State College) という町の名を地図の上で探し出すまでには 多少の時間を必要とした。というのは この大学は約100年余り前1855年にペンシルベニア州 (米国東部 ニューヨーク州の南に位置している) の州政府が農業学校を設立しようとした時 ほぼ矩形に近い形をしたこの州の中で 東の端にあるフィラデルフィア (Philadelphia) と西端に近いところにあるピッツバーグ (Pittsburg) の2つの大都会が 互いに自分の所に取ろうとして争ったので 結局州のちょうど中央 アパラチア山脈中の準平原の上に 設立されたという歴史があり 当時は約3マイル行かなければ部落一つないといった状態であった。69名の学生



ニューヨーク市にある国連本部 この23階に Training and Fellowship Programmes Section があって Fellowship や Training (たとえば先年地質調査所で開催された空中写真講習会) などの世話をしている



ルイスタウン (Lewistown) 駅と武司技官 小さな田舎の駅はまことに閑散としている

が入学して 授業が始められた後 少数の農家や商人が大学の周辺に移ってきて 現在のステート・カレッジの町の基礎を築いたのであった。

現在では ステート・カレッジの人口は学生を入れて約2万2千で 隣接の町に住む人を入れると 大学町として約3万人の人口を持っている。要するに この町は大学の職員と学生 その家族 商人 サービス業者といったすべて大学に直接 間接関係のある人たちだけの町で 田舎町とはいっても その生活様式はかなり都会的で したがってありがたくないことだが 物価も決して安くはないとのことであった。生活水準の一端を示すものとしては 70%以上の家族が自分の家を持ち 95%以上の家族が電話を持っている。

この大学は 学生数約2万2千 (1961年現在 その中約5500名はペンシルベニア州内の各所にある分校に在籍している) 職員数約2000名で アメリカ国内で 12番目に位している大きな大学である。

農学部(College of Agriculture) 芸術 建築学部(College of Arts and Architecture) 政経学部 (College of Business Administration) 化学 物理学部 (College of Chemistry and Physics) 教育学部(College of Education) 工学部 (College of Engineering) 家政学部 (College of Home Economics) 教養学部(College of Liberal Arts) 鉱産工学部(College of Mineral Industries) 体育学部 (College of Physical Education and Athletics) の10学部があり 総合大学としては医学部のないのが欠点であるが 町が小さすぎて たとえ医学部をつくっても 付属病院に入院する患者が足りなくて 医学部はつくれないとのことである (なお最近 化学・物理学部 その他で多少の変更があった)。

鉱産工学部 (College of Mineral Industries)

鉱産工学部は 農学部について 2番目に設立された古い学部であるが この学部は 地球に関するあらゆる分野の学問を総合した学部として 米国内はもちろん世界的にも有名であり さらに一層の発展をとげるために現在ある2つの主要校舎のほかに 新しく地球科学館 (Earth Sciences Building) の建設計画が300万ドルの予算で実行に移されている。

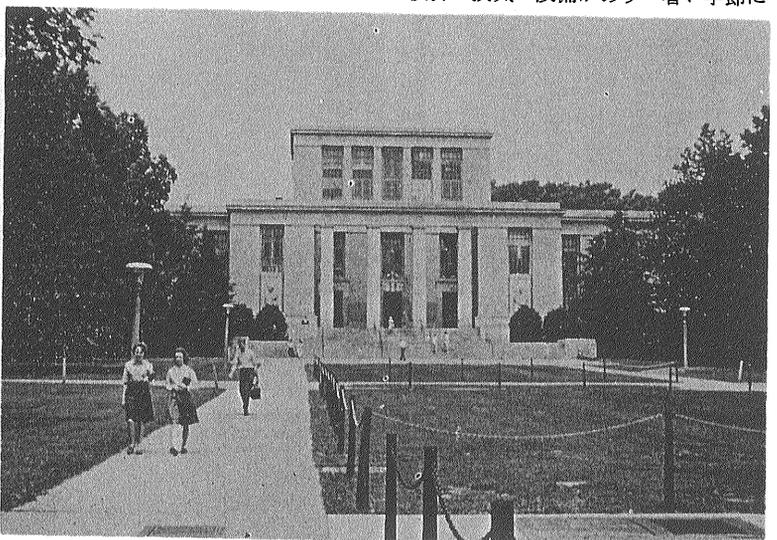
次に簡単にこの学部について紹介すると ちょうど70年前にペンシルベニア州立大学に 鉱山学科を設立することが州政府によって承認され その後3年たった1896年に 鉱山学部が発展し さらに幾多の変せんを経て 1929年に鉱産工学部(School of Mineral Industries) が設立され 地球科学(Earth Science) 採鉱工学 (Mineral Engineering) 応用鉱物工学(Mineral Technology) の3つの主要分野において 急速に発展した。1930年に現在の鉱産工学館(Mineral Industries Building) が建設され 1949年に鉱物科学館 (Mineral Science Building) が建設され 1953年にさらに増築された。

岩石学者 地球化学者として有名なオスボーン博士 (E. F. Osborn) は1953年から 1959年まで学部長として働き この学部に対して いろいろの建設事業を行なったが とくに地球科学館 (Earth Sciences Building) の新設は この学部の発展をさらに増大するものとして期待されている。

この新設の地球科学館は 1964年に建設が予定されているが 急速に発展している地球科学の各分野 地質学 鉱物学 地理学 気象学などの教室が既設の2つの校舎から移され さらに学部付属の総合実験所のうち 石炭研究部が移ることが予定されている。この新しい建物は各部屋ごとに 暖房と換気の設定があり 暑い季節に



ペンシルベニア州立大学の本部 (Old Main)



同大学の中央図書館 (Pattee Library) このほかに各学部ごとに図書館がある

は 建物全体が冷房されるように設計されている。床はすべて タイル張りあるいはアスファルト張りで この建物が完成すれば 鉱物科学および鉱物工学の分野においては その研究施設は世界に並ぶもののないものになると期待されている。1928年には研究費が零であったものが 1962年には168万ドル 1928年には19人の職員であったのが 1962年には167人と大きく発展している。学生数は1928年には200人であったが 1962年には700人と増加した。

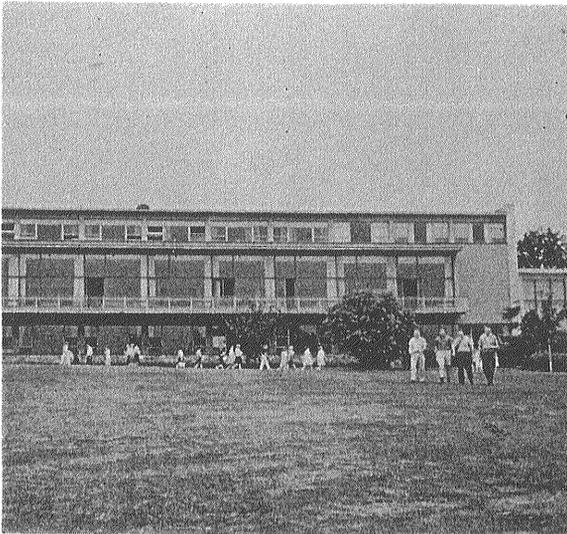
以上簡単に鉱産工学部の歴史的発展の跡をたどって見たが 現在では この学部は「鉱物の発見 抽出 利用のすべての分野における教育と研究のため すなわち 既知鉱床の効果的開発 新鉱床の発見 現在利用されていない鉱物資源の活用のための新技術の開発を目的として」 3つの部門(Division) と11の教室(Department)に分けられている。

- 1. 地球科学部門 (Earth Sciences Division)
 - 地質学・地球物理学 (Geology and Geophysics)
 - 地球化学・鉱物学 (Geochemistry and Mineralogy)
 - 地理学 (Geography)
 - 気象学 (Meteorology)
- 2. 採鉱工学部門 (Mineral Engineering)
 - 採鉱学 (Mining Engineering)
 - 選鉱学 (Mineral Preparation Engineering)
 - 採油・ガス学 (Petroleum and Natural Gas Engineering)
 - 鉱業経済学 (Mineral Economics)
- 3. 応用鉱物工学部門 (Mineral Technology)
 - 冶金工学 (Metallurgy)
 - 窯業工学 (Ceramic Technology)
 - 燃料工学 (Fuel Technology)

この中 地球科学関係の2つの学科は今年の2月に以前は地球物理学・地球化学教室と地質学・鉱物学教室であったものが 現在の形に再編成されたものである。

工業材料研究所 (Materials Research Laboratory) 原子力および宇宙時代のいろいろの問題を解決するための研究を行なう目的で 新しい研究組織が鉱産工学部の中に設立され 多数の関連した研究計画がお互いに連携いして 共通の研究施設を持つように計画されている。水熱合成の研究で有名なロイ教授 (Dr. Rustom Roy) が新しい研究所の所長に任命された。工業材料の研究は単独の分野の専門家によって行なわれるには 余りにも複雑になりすぎたので この研究所を通じて 共通の研究計画に 物理学者・化学者・冶金学者・窯業学者・結晶学者・鉱物学者・地球化学者を動員することが可能になったわけで この研究所の研究費は大学当局 原子力委員会 (Atomic Energy Commission) 国立科学財団 (National Science Foundation) アメリカ化学協会 (American Chemical Society) アメリカ石油協会 (American Petroleum Institute) その他の機関から支出されている。

総合実験所 (Experimental Station) 近年における実験器械の進歩は 研究の進歩を増大させるとともに 器械の大型化とその取り扱いの複雑さを倍加した。したがっていずれの研究機関においても 大型実験器械の共同使用が問題になってきているが この鉱産工学部においては 徹底した集中管理方式がとられていて 学部には付属した総合実験所 (Experimental Station) が設けられている。電子顕微鏡 X線回折計 単結晶X線カメラ (ワイゼンベルク・カメラなど) 質量分



職員および学生の集会場 (Hetzel Union Building) 3階建て 1階はホール・カフェテリア (食堂) 2階には読書室 展覧会場などがある



鉱産工学館 (Mineral Industries Building) 地上3階 地下1階 筆者はこの建物の2階の実験室で研究をした

析器 X線蛍光分析装置 赤外分析装置 Electron microprobe X-ray analyser 炎光分析装置 その他現在までに実用化されている大型の実験装置はほとんどすべて 学部共通の施設として 維持管理されている。各研究者からの依頼によって 管理責任者が実験を行なうか あるいは希望によっては 各研究者自身が直接器械を使用することもできるが その場合は 使用法に慣れていない研究者のために 使用法の指導も行なっている。もちろん それぞれの場合に応じて使用料金が決まっています 研究費から使用料は差し引かれることになっている。筆者も電子顕微鏡写真の撮影を依頼したり 軽金属元素のX線蛍光分析を直接行なった経験があるが 一般的にいて 上手に運営されているように思った。もっともX線回折計程度の実験器械は各研究室にも専用のものがある場合もあり 筆者の所属した研究室においても Norelco のX線発生装置1台と 2台のゴニオメータおよび記録装置が専用に設置され 昼も夜も常時使用されていた。もちろん電子計算機のような超大型の器械は大学全体で管理使用されている。

今後とも実験器械の大型化がますます進むであろうことは自明の理であるので われわれとしても大型実験器械の管理については 研究する必要があるものと思う。

窯業工学科および工業材料研究所

における 研究生活

私の指導教授であったブリンドレー教授 (Dr. G. W. Brindley) は粘土鉱物学 窯業工学に関係のあることはすでにご承知のとおり この大学の窯業工学教室の主任教授および固体反応論の教授 (Professor of Solid State Technology) として 粘土鉱物学 固体反応論の分野で世界的に著名であり 数年前に 東京工業大学に招へい教授として半年間滞在されたこともあり 日本人にはな

じみの深い方である。私がペンシルベニア州立大学へ行くことが決まったときに 同教授から手紙をいただいたことはすでに述べたが その中に 「私は現在イライト (Illite) セリサイト (Sericite) の問題に非常に興味を持っている ついてはあなたがられるときに 日本のセリサイトの試料を持って来てほしい」と書いてあったので ちょうど手許にあった数種のセリサイトの試料を持って 1962年の3月に渡米した。途中ニューヨーク市の国連本部によって 手続その他をすませ ニューヨーク市から車で5時間位かかって ルウイスタウン (Lewistown) という小さな田舎駅に着き 東大の中平博士 (ブリンドレー教授のところで 高温における電気伝導度について研究中) が自動車で迎えに来て下さったので さらに1時間位のドライブも無事3月25日の夕方ステート・カレッジに着いた。翌日ブリンドレー教授にお目にかかって 大学における手続を済ませたわけであるが 27日に同教授に再びお会いしたところ 「君は何年いるつもりか」と聞かれ私が1年の予定であるという 「それはたいへんいそがしい 明日から8時半までには実験室にきてほしい」ということになり 着いたばかりで 1週間位は慣れるまでのんびりしようと思っていたところだったので これは少々大変なことになったと思った次第である。それから毎日月曜日から土曜日まで 時には日曜日でも実験室ですぐすことになったが 日本で野外調査やいろいろの雑事に追われて 思うように実験できなかったのに比べ 一切の雑用を離れ 純粋に実験に明け 実験に暮れた生活も時には忙しすぎて閉口したこともないわけではなかったが 内容の充実した 楽しいものであった。

私がこの大学で最初に取りかかった問題は「X線による雲母質鉱物の定量法」で 微粉細した白雲母の試料を有機セメントを溶かしたアセトン中で 軽くかくはんし ア



鉱物科学館 (Mineral Sciences Building) 鉱産工学科とは地下道で連絡されている 新しい地球科学館 (Earth Sciences Building) はこの建物の向かって右側に建設される



ペンシルベニア州立大学の正門 この付近に商店街がある

セトンが揮発した後 試料を円筒の試料ホルダーに入れて裏面からおしつける。これは試料表面において結晶粒子が一定の方向に排列することを除去するために取った方法であるが 次に試料ホルダーを回転しながらX線回折計(X-ray diffractometer)で(001)面の反射強度と(060)面の反射強度の比を求めて白雲母の結晶粒子が完全に不規則に排列していることを確かめ 試料中の白雲母の量を定量する方法である。この方法はブリンドレー教授の研究室ですでにカオリナイト(Kaolinite)について 良い結果が得られたので その方法を雲母質鉱物にも応用しようとしたわけであるが 雲母の方がカオリナイトに比べると(001)面の壁開がよく発達していて結晶の厚さが薄くなるせいかな どうしても多少とも底面の方向に排列する傾向があり $I(001)/I(060)$ の比がラドスロピッチ(Podoslovich)(オーストラリアの結晶学者 ブリンドレー教授の研究室にもいたことがあり 現在はワシントン〔Washington, D.C.〕のカーネギーの地球物理学実験所〔Geophysical Laboratory of Carnegie Institute〕で研究中)の計算した理論値よりも大きくなるので ついに この研究は一応中止することになった。

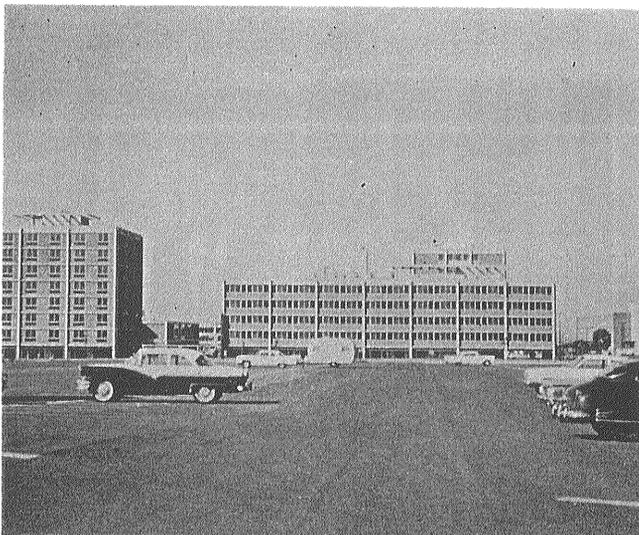
というわけは もともとブリンドレー教授はアメリカ石油協会(American Petroleum Institute)の研究費で鉱物の風化現象の研究を始めることになっており ちょうどたまたま私がくることになったので 私の研究分野も同じ範囲にはいることではあり 新しくくる大学院の学生と3人で共同研究をすることになっていたのである。鉱物の風化現象の研究は ブリンドレー教授とロイ教授の2人によって 共同で管理されている研究計画の一部で この研究計画に含まれている おもな題目は

1. 新しい実験器械の粘土鉱物への応用
 - a. Electron microprobe X-ray analyser の応用
 - b. 質量分析装置(Mass spectrometer)の応用
2. 鉱物の風化現象の研究

であり Electron probe の研究は主として ロイ教授とその研究員によって行なわれ 活発な研究活動が行なわれていたが 質量分析装置の方は 担当者の事故などもあって まだ余り大きな成果は見られていなかった。

実験的研究の方面では広い意味の風化現象が取り上げられ 高温で生成された鉱物相が比較的低温で粘土あるいは沸石のような加水珩酸鉱物に転移する現象の研究が行なわれていた。筆者の所属したグループにおいては 風化現象の中 雲母質鉱物の風化をまず取り上げ その第1段階として 雲母とモンモリロナイトの中間にある粘土鉱物の研究にとりかかった。それで まず天然の雲母質粘土鉱物である イライト(illite)とセリサイト(Sericite)をよりよく理解することを目標とし さらに人工合成鉱物の研究変質作用の実験室的研究を加えて 天然における風化現象の解明に努めることになった。

イライト(illite)という鉱物は 1937年にグリム教授(R. E. Grim—イリノイ州立大学教授粘土鉱学 応用粘土鉱物学分野で著名)および その共同研究者によって イリノイ州の頁岩の主要成分鉱物である雲母質粘土鉱物について命名されたもので 白雲母に似てはいるが 白雲母に比べてKの量が少なく H₂Oの量が多い特別の種であるとされた。その後今日に至るまで イライトという名前は世界中に広く用いられているが 果してイライトが白雲母に対して 別の鉱物種であるか あるいはまたセリサイトとの関係はどうなっているか などと この鉱物名についての疑問は非常に多く 世界中の粘土鉱物



学生の寄宿舎と駐車場 このような建物の寄宿舎はほかにも多数ある



卒業式風景 式が終わって卒業証書を手にした大学院の卒業生たち この大学では年に4回卒業式があるが 6月の卒業式がもっとも大きく フットボール場で行なわれる

学者および粘土鉱物に関係のある人々の議論的になっていたのであった。したがってこの分野においていろいろな研究が行なわれたがあまり大きな発展はなく粘土鉱物学のほかの分野の進歩に比べて雲母質粘土鉱物の研究は過去10年間ほとんど進歩がなかった。

1952年にブラウン(Brown)とナリッシュ(Norrish)が1つの興味ある仮説を発表した。それはイライトは白雲母に比べて層間のKの量が少ないがそのKの不足による正電荷の不足は $(H_3O)^+$ イオンによって補われているというのであった。しかしこの仮説は一般的にはまだ受け入れられておらずしかもさらにこの仮説を支持するような試みもその後現われなかった。それでわれわれはこの仮説をより詳細に検討するところから出発した。

研究に使用した試料としては数種の白雲母 筆者が日本から持参したセリサイトおよび多数のイライトが使用された。研究の内容を詳細に議論することは紙数の関係で不可能であるのでごく簡単に紹介するとイライトの結晶構造と白雲母の結晶構造は基本的には大差はない。つまり2個の $Si-$ 四面体の間に $Al-$ 八面体がサンドイッチ状にはさまれたものが1つの層をつくりこの層ともう1つの隣の層との間に K^+ イオンが存在する。しかもこの K^+ イオンの正電荷は $Si-$ 四面体中の Si^{++++} が $1/4$ は Al^{+++} によって置換されたために減少した正電荷を補う役目をしている。したがってブラウンとナリッシュの見解によればイライトの場合は層間の K^+ の一部が $(H_3O)^+$ イオンによって置換され白雲母に比べて全体として K^+ の量が少なく H_2O の量が多いということになるわけである。

われわれのグループは利用し得るあらゆる実験方法たとえばX線分析・高温加熱による相変化・示差熱分析・熱天秤・X線蛍光分析・電子顕微鏡による観察など

のいろいろの実験方法を使用してこの仮説を確かめようと試みたが結局この仮説を積極的に支持するような実験結果は得られなかった。上述のいろいろの実験中白雲母とイライトおよびセリサイトの差異がもっとも良く現われたのは熱天秤による加熱減量曲線であるがその差異を解釈するために白雲母の大きな結晶をいろいろの粒度に粉碎してその脱水曲線を求めたところ白雲母を細かく粉碎すればするほど脱水量が多くなりしかも普通 $110^\circ C$ 以下で脱水するいわゆる吸着水と高温(ほぼ $400^\circ C$ 以上)で脱水する構造水の中に $110^\circ C$ 以上から $300^\circ C$ 前後で脱水する水のあることが慎重な実験を度々繰り返した結果証明された。しかもこの水の量は鉱物の表面積および表面の性質に関するものではないかという結論に達し私の帰国後もブリンドレー教授の研究室でこの線に沿ってさらに研究が進められている。

以上ペンシルベニア州立大学の鉱産工学部のことおよび筆者が同大学で行なった研究の概要について述べたがこのほかに筆者の同大学滞在中「粘土鉱物学における最近の進歩」という夏季講習がブリンドレー教授ロイ教授ペイツ教授(Professor T. F. Bates)によってアメリカ石油協会の援助の下に組織されイギリスからマッケンジー(Mackenzie)フランスからオバーリン(Oberlin)オーストラリアからコール(Cole)など海外から参加した講師を加えて開催されたがアメリカ国内からの多数の講師アメリカ国内の政府・大学関係の研究者民間の研究者総計約40名の聴講者が参加し2週間の間当大学で盛大に行なわれたのでこれらの模様についても述べたいと思ったが紙数も尽きたので滞米中訪問した粘土鉱物学関係の研究機関の様子などとともに次の機会にゆずりたいと思う。(筆者は 鉱床部)



ステート・カレッジ(State College)の町はずれにあるショッピング・センター(Shopping Center)駐車場の広いことが必要なので大きなショッピング・センターはすべて町はずれにある



ブリンドレー教授のお宅でのパーティ 向かって右からブリンドレー教授レイ博士(私の友人で粘土鉱物学専攻)同夫人ブリンドレー夫人大学院学生(固体反応論専攻で卒業論文は粘土鉱物学)