九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

接触変成作用による石灰岩中の方解石の粗粒化

田口, 康博
九州大学理学部

青木, 義和
九州大学理学部

https://doi.org/10.15017/4494420

出版情報：九州大学理学部研究報告. 地球惑星科学. 20 (2), pp.71-78, 1998-12-28. 九州大学理学部
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

接触変成作用による石灰岩中の方解石の粗粒化

田口康博*・青木義和

Calcite grain coarsening by contact metamorphism in calcite marbles

Yasuhiro Taguchi and Yoshikazu Aoki

Abstract

Grain coarsening of calcite by contact metamorphism was studied by measuring the grain-size of calcite in calcite marbles in the Katamuki Mountain's ring-dyke contact aureole, Oita Prefecture, Japan. The Miocene ring-dyke rocks consist of granite porphyry and quartz porphyry which intruded in Jurassic sediments. Calcite marbles are interbedded in Jurassic sediments called the Okugawachi Formation and have undergone thermal metamorphism in Miocene age. Equigranular calcite marbles which outcrop together with metapelites, metabasites and cherts show a systematic pattern of increasing grain-size towards the ring-dyke contact. The mean diameter of calcite in calcite marbles increases with distance towards the contact by an exponential fashion. The grain-size distribution broadens with increase in the mean diameter towards the contact boundary, where the recrystallized grains are somewhat deformed and strain-induced suturing of grain boundaries is present between deformed grains and subgrains are often seen at the boundaries between large crystals. Therefore strain was induced in calcite marbles when the ring-dyke rocks intruded in them.

Ⅰ．はじめに

静水圧下で温度が増加すると結晶が粗粒化し，その結晶を含む岩石の組織や微細構造を変化させる．特に既存岩に火成岩が貫入した場合，その火成岩から離れるにしたがって連続的に結晶粒径が変化している場合がしばしば観察される．このような，ある岩石中の結晶の粗粒化に関する研究は，変成岩の組織や微細構造の形成過程を論ずる場合に重要である．

このような研究を実験的に行うことは可能で，材料科学の分野ではこの種の研究は既に数多く存在し（例えばOlgaard and Evans,1986），それらの結果をもとに組織の形成過程や形成機構の解明を行い，目的とする物性をもつ金属や多結晶体を合成したりしている．地球科学の分野では，特に変成岩の組織や微細構造の形成を論じる場合に重要であるにも関わらず，例えばTullis and Yund（1982）による石英や方解石の粗粒化の反応速度論的研究やWirth（1985）による記載学的研究などがあるにすぎない．

再結晶による粗粒化に関する研究を行う場合，石灰岩のようなほぼ単一鉱物で構成されている岩石を試料にすると，データの抽出やその解析の際に比較的簡単に取り扱うことができて都合がいい．そこで，大分県三重町白谷付近に分布する石灰岩が，新期酸性火成岩類の貫入を受けて粗粒化している場合を取り上げ，方解石の粒径測定からこの地域の接触変成作用について

平成10年8月3日受付，平成10年9月24日受理
＊佐世保工業高等学校

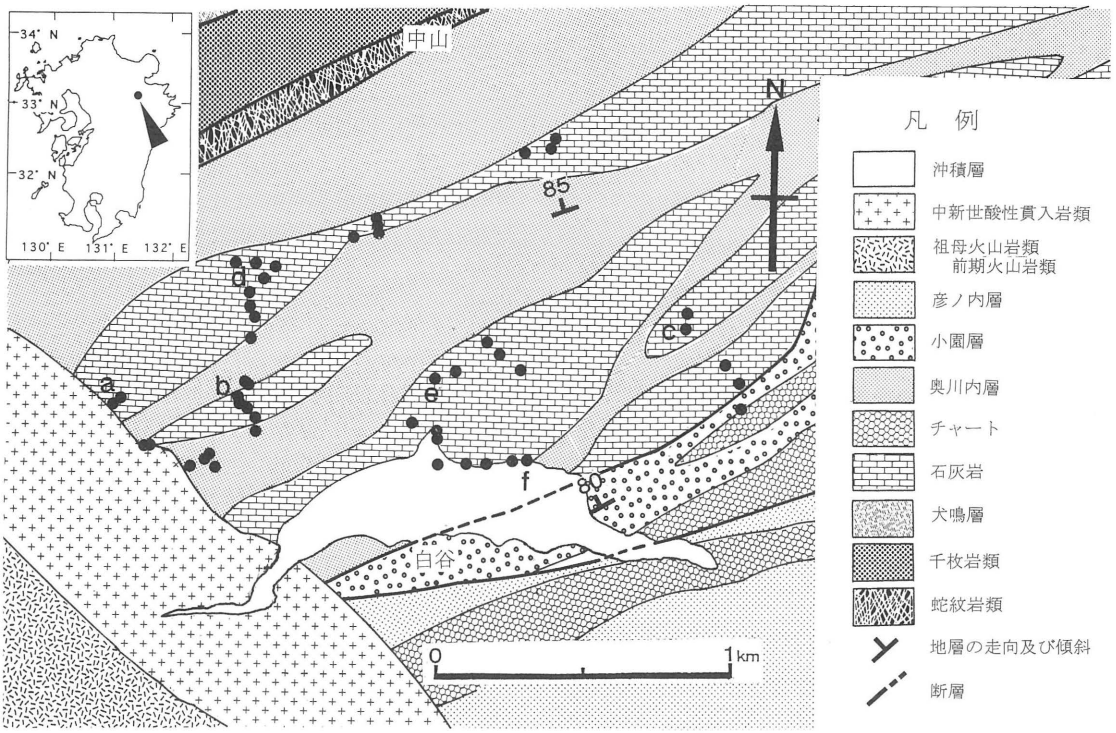

Fig. 1. Geologic map (after SAKAI et al., 1993) and sampling locations. The sample simbols (a～f) correspond to those in Figs. 2, 4, 5 and 6.

検討した．その結果を報告する．

II．地質概略

調査地域は大分県傾山のふもと，三重町白谷付近で(Fig. 1)，津久見市から西南方に延びる石灰岩ブロックの西端に位置する．

この地域の地質は西南日本外帯の秩父累帯に属し，その大部分は秩父累帯南帯で，黒瀬川帯がわずかに分布する．それは調査地域の西北方にわずかに見られ，蛇紋岩を主とする超苦鉄質岩類と千枚岩類からなる．

その東南方には秩父累帯南帯に属する下部ジュラ系の奥川内層，下-中部ジュラ系の小園層，中-上部ジュラ系の彦ノ内層が分布し，奥川内層には石灰岩が，小園層にはチャートがそれぞれ含まれている．これらはそれぞれ断層関係にあり，各層とも北東から南西に帯状に伸びており，その地質時代は北西から南東へ次第に新しくなる傾向が認められる（酒井ら，1993)．

これらの地層は，第三系中新統のデイサイト-流紋岩溶結凝灰岩および流紋岩溶岩からなる祖母火山岩類-前期火山岩類に不整合関係で覆われている．

中新世酸性貫入岩類は花崗斑岩や石英斑岩からなり，傾山カルデラ縁辺の環状断層に沿って貫入し，既存の岩石に接触変成作用を与えている．

III．石灰岩の薄片観察

本地域の奥川内層に含まれている石灰岩は，接触変成作用を与えた中新世酸性貫入岩類に対し，ほぼ垂直に近い角度で北東から南西に帯状に配列している．Fig. 1の黒丸で示すように，貫入岩との接触部から約2 kmまでの範囲で石灰岩の試料を採取した．採取した各試料から薄片を作製し，偏光顕微鏡下で観察した．Fig. 2はそれらの薄片写真の一例であり，a～fはFig. 1の試料採取箇所（黒丸）のa～fに対応する．

貫入岩との接触部から10 mの箇所で採取した石灰岩は極めて粗粒で，方解石の一辺が5 mmを越えるものも存在し，それらの粒界は鋸歯状のスタイロライト様構造を示す（Fig. 2 a)．各結晶とも劈開明瞭で，その一部がわずかに湾曲している場合もある．試料によっては0.1 mm以下の小粒が大きな結晶の粒界を埋める粒間充塡組織が見られる．

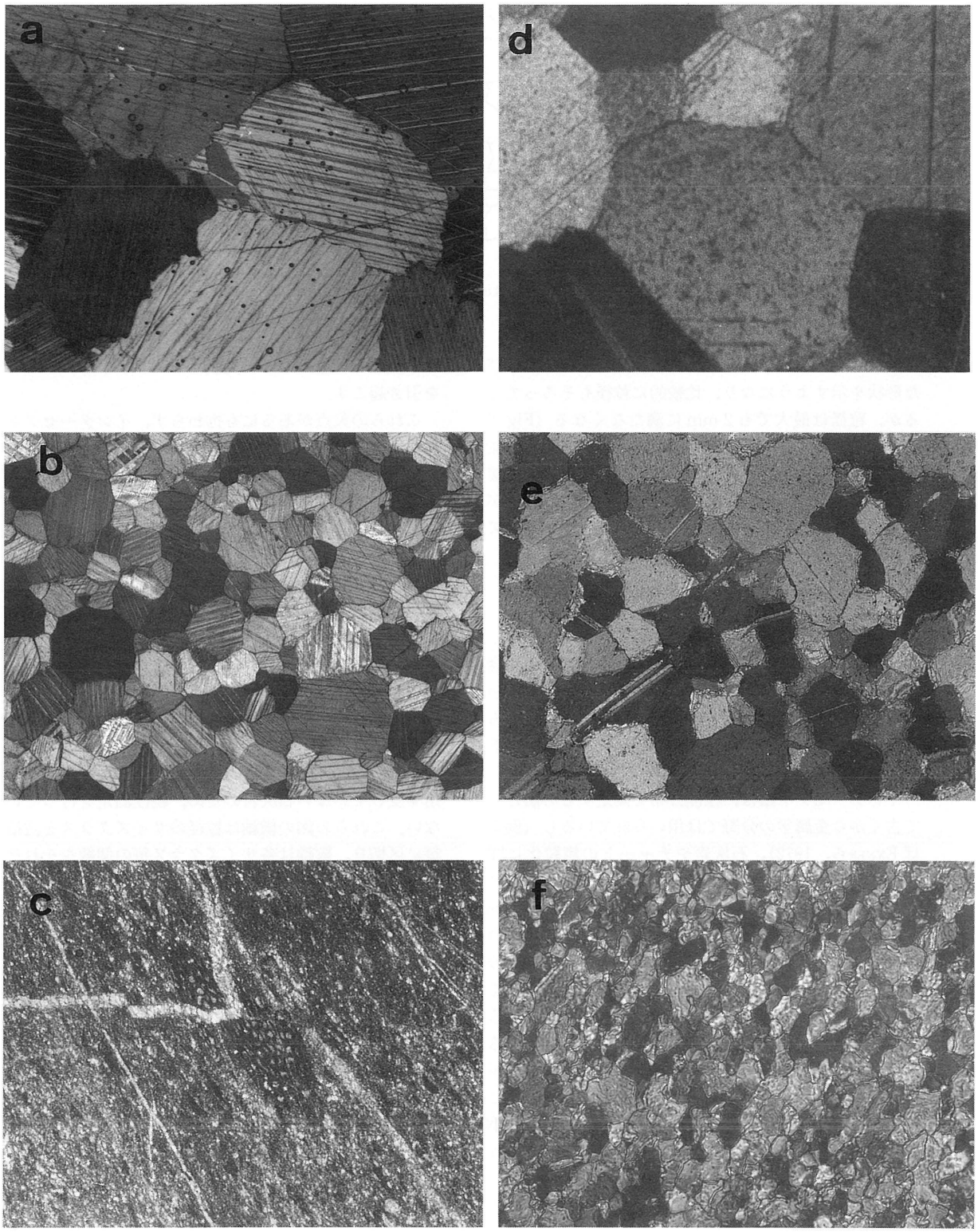

Fig. 2. Photomicrographs of calcite marbles at different stages of coarsening by contact metamorphism. Distances from the contact in m in parentheses ; a(10), b(280), c(1500), d(660), e(770), and f(790).

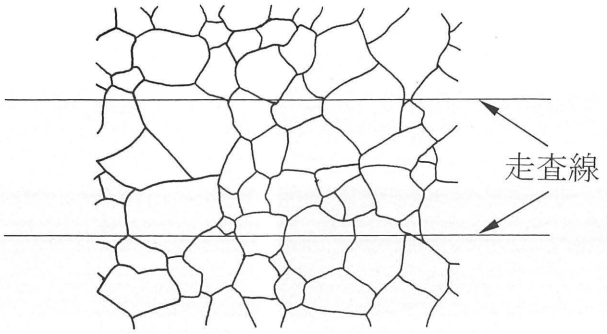

Fig. 3. Schematic illustration of the line-intercept method.

接触部から約 280 m 離れると，結晶粒が丸味を帯びた形状を示すようになり，比較的に粒径もそろってくるが，粒径は最大でも 2 mm に満たなくなる（Fig. 2 b）．さらに接触部から遠ざかるにつれて，方解石の粒径も次第に小さくなっていく（Fig. 2 d, 2 e, 2 f）．接触部から約 1500 m 離れると，接触変成作用の痕跡が認められなくなり，場所によっては石灰岩の中にフズリナその他の化石が観察される（Fig. 2 c）．

Ⅳ．方解石の粒径測定

方解石の粒径測定にはインターセプト法を用いた．インターセプト法とは，Fig. 3 に示すような結晶集合体の組織において，任意の直線（これを走査線という）を等間隔に平行に引き，走査線が粒界で切り取られる線分の長さを測定し，その長さ，インターセプト径，の分布を調べるものである．

インターセプト法は，粒径分布を測定する方法として古くから金属学の分野では用いられているし（例えば Exner ら，1972），石灰岩やチャートの粗粒化に関する研究（例えば Covey-Crump and Rutter, 1989）や，実験による粗粒化の反応速度論的研究（Tullis and Yund, 1982）等にも用いられている．しかし 2 つの欠点がある．そのひとつは切断効果といわれるもので，インターセプト径は実際の最大粒径よりも小さくなる（またはせいぜい等しくなる）ということである．Fig. 3 を見てわかるように，ひとつの粒子に注目すると，走査線は等間隔に平行に引かれるので，走査線がその粒子の最大直径のところを通過するのは極く稀にしか起こらないことになる．従って，粒径は一般に小さめにでる．もうひとつはサンプリング効果といわれるもので，あるひとつの粒子によって走査線が切り取られる確率は，粒径の大きさとともに増加し，より小さな粒子の存在度を低く見積もってしまうということを引き起こす．

これらの欠点があるにも拘わらず，インターセプト径の分布は真の粒径分布と数学的な相関関係があり（Bockstiegel, 1966），本研究で扱うような変形をほとんど受けていない結晶質石灰岩の試料同志を比較する場合，特にその相対的変化を見る場合はインターセプト径の分布で粒径分布を代表させて差し支えない．よって本研究では粒径測定にインターセプト法を用いた．測定個数は 1 試料につき 400 個以上とした．

Ⅴ．粒径測定結果

インターセプト法を用いて石灰岩中の方解石結晶の粒径測定を行った結果のうち，Fig. 2 に薄片写真を掲げた試料の測定結果のみを Fig. 4 に示す．Fig. 2 の a～f は Fig. 4 の a～f に対応するが，c は接触変成作用を受けていない石灰岩のため，粒径測定を行っていない．これらの図の横軸は粒径のサイズクラスを$\sqrt{2}$倍毎に区切り，縦軸は各サイズクラス毎の個数をそれぞれ表してある．

各試料の粒径分布は正規分布に似た形をしているが，少し負のゆがみが認められる．その山形の分布は，a から f へ，即ち貫入岩との接触部から遠ざかるにつれ，粒径の小さい方へ移動している．このような関係を明らかにするため，横軸に貫入岩からの距離，縦軸に平均粒径の対数値を図示したのが Fig. 5 である．この図から貫入岩からの距離と平均粒径の対数値には直線関係があることがわかるが，貫入岩からの距離が約 700 m までとそれ以遠では異なっており，約 700 m を越えると方解石の平均粒径は急激に小さくなる．

次に各試料に含まれる方解石結晶の粒径のばらつきの程度について検討した．Fig. 4 に示す粒径分布図に

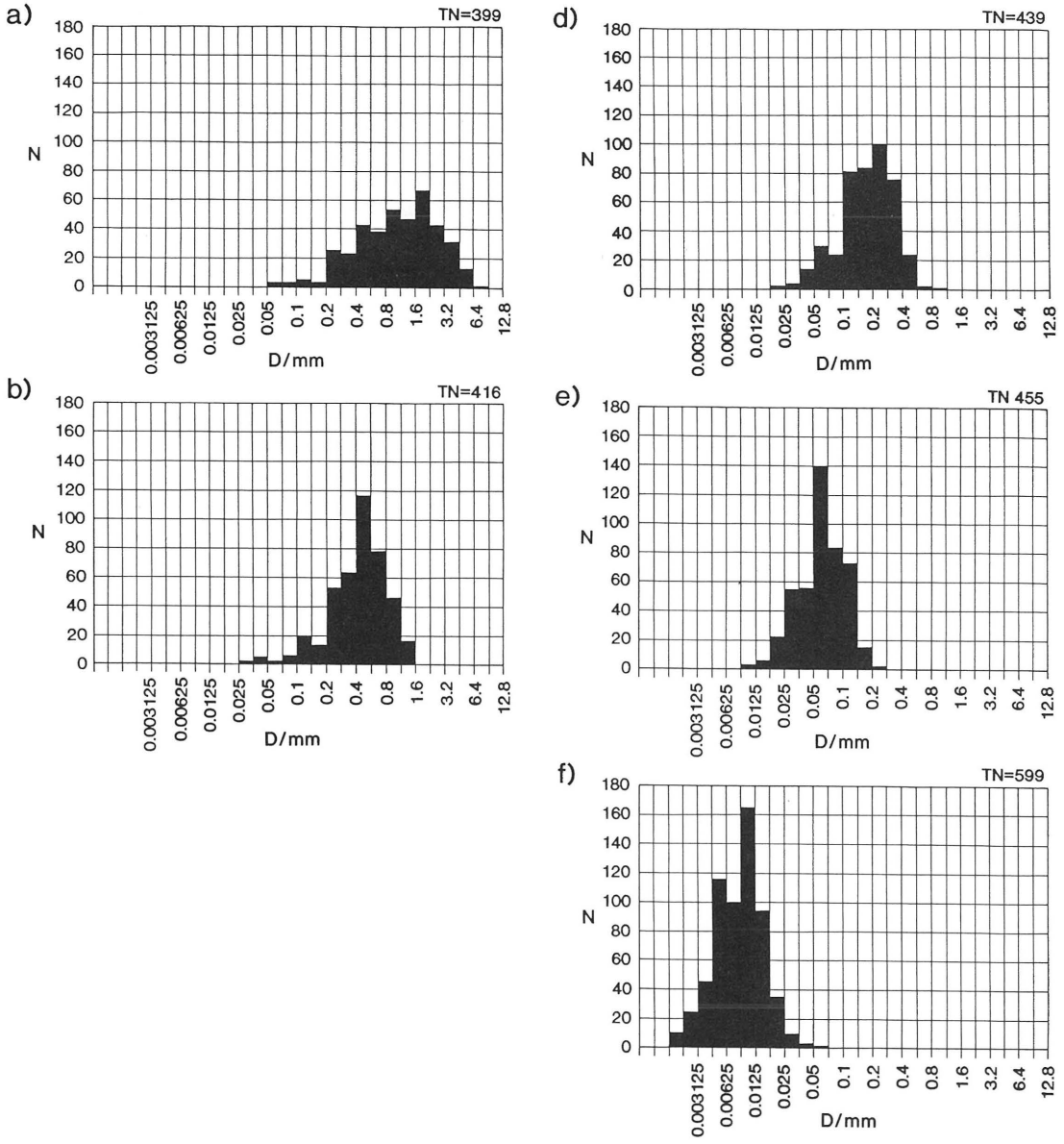

Fig. 4. Histograms showing distribution of grain-size for a selection of the calcite marbles. The symbols a), b), d), e), and f) correspond to those in Fig. 1. The sample c was not counted. N and TN are the number and the total number of grains counted, respectively. D is the grain-size divided in times of square root of two.

おいて，横軸のサイズクラスは $(\sqrt{2})^n$mm（n＝0，±1，±2，……）毎に区切ってあるが，このnについて各サイズクラスの個数から標準偏差を求め，これを粒径分布偏差と名付ける．この値を貫入岩からの距離に対して図示すると，Fig. 6 a のようになる．図中に記したcを除くa～fは，Fig. 1 の試料採取地点a～fに対応しており，貫入岩に近づくにつれ，粒径分布のばらつきが大きくなることがわかる．さらに，この粒径分布偏差をその試料の平均粒径に対して図示すると，平均粒径が大きいほど，粒径分布のばらつきが大きく

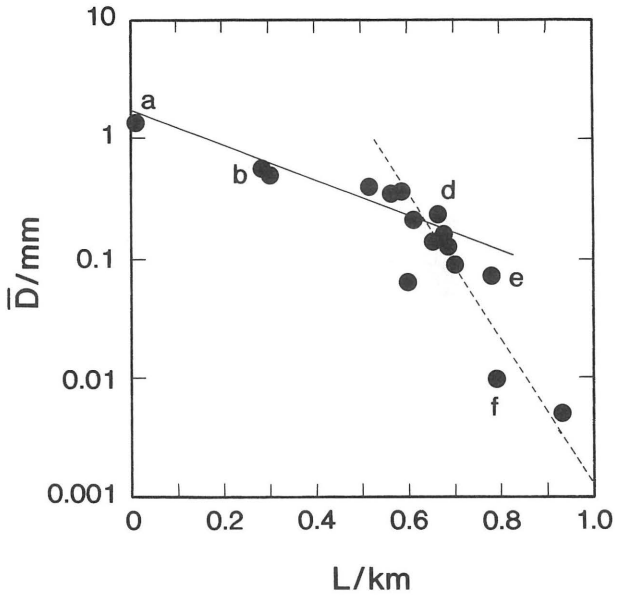

Fig. 5. The mean grain-size ($\overline{D}$) of calcite crystals in calcite marbles plotted against the distance (L) from the contact. The symbols (a～f) refer to those in Fig. 1.

なることがわかる（Fig. 6 b）.

Ⅵ. 考 察

接触変成作用による結晶の粗粒化において，時間 t_0 における結晶の平均粒径を $\overline{D_0}$，それから t 時間経過後の平均粒径を $\overline{D}$ とすると，両者の関係は，

$$\overline{D}^n-\overline{D_0}^n=K_{0,n}\exp\left[-Q_n/RT(t)\right]\,dt \qquad (1)$$

で表される（Joesten, 1991）. ここで，n は物質や拡散機構によって決まる次数，$K_{0,n}$ は温度に依存しない n 次での粗粒化定数，Q_n は n 次での粒子成長を起こすための活性化エネルギー，R は気体定数，T は絶対温度である.

また貫入岩からの距離 L における温度の時間変化は，熱伝導の式を用いると次のように表される：

$$\frac{\partial T}{\partial t}=\frac{k}{\rho Cp}\frac{d^2T}{dX^2} \qquad (2)$$

ここで，k は物質の熱伝導率，ρ は密度，Cp は熱容量である.

これら（1），（2）式を組み合わせ，適当な初期条件と境界条件を設定すると，貫入岩からの距離と結晶の平均粒径との関係が求められる. このような関係が既に報告されている実際の例としては，Dashkesan massif と接触している石灰岩中の方解石（Grigor'ev, 1965）や Christmas Mountains gabbro による石英の粗粒化（Joesten, 1988）などがあげられ，貫入岩からの距離と結晶の平均粒径との関係はいずれも指数関数的になっている.

本地域の石灰岩も貫入岩との接触部から約 700 m までは，距離と平均粒径との関係は指数関数的で，例えば Fig. 5 の実線部分の回帰直線は

$$L=1.66\exp\left(-3.58\,\overline{D}\right) \qquad (3)$$

となる.

しかし，同図の点線部分のように約 700 m 以上離れると距離とともに平均粒径が急激に小さくなる. この原因としては，地下に分布する岩石や地質構造の違いなどによって急に温度が低下することが考えられるが，今のところ明確な証拠は得られていない.

また正常粒子成長によって方解石が成長すると，接触変成作用を受けた如何なる場所においても，その粒径分布の形がほとんど変化しないため，粒径分布偏差はほゞ一定の値をとるはずである. しかし本地域の方解石の場合，貫入岩に近づくにつれて石灰岩を構成す

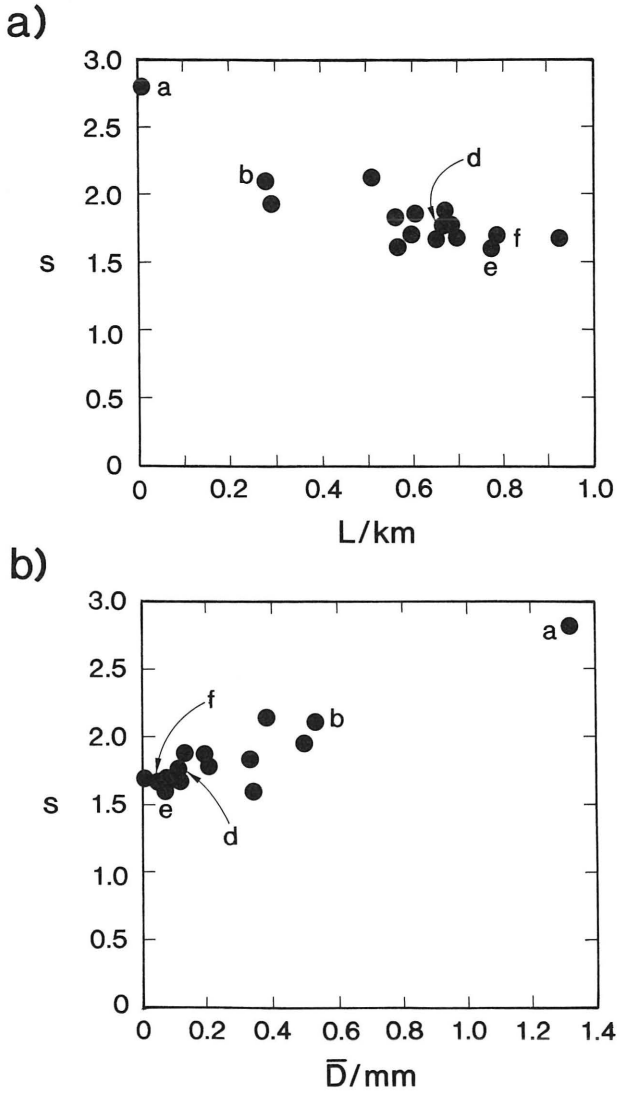

Fig. 6. (a) Deviation (s) of grain-size distribution versus the distance (L) from the contact, and (b) that versus the mean grain-size ($\overline{D}$) of calcite crystals in marbles. The symbols (a～f) refer to those in Fig. 1.

る方解石の平均粒径が大きくなるが，それにつれて粒径分布偏差も大きくなる，つまり粒径のばらつき具合も増大する傾向が認められる（Fig. 6）．これは，貫入岩の近くでは方解石の劈開が湾曲していること，粒界が鋸歯状であること，および粒間充塡組織が見られることなどから，貫入岩併入の際に石灰岩が圧力を受けたことは明らかで，接触部付近では接触変成作用に動力学的再結晶作用が付加されたために，粒径分布偏差が上述のような結果になったものと推察される．

Ⅶ．まとめ

大分県傾山付近の接触変成作用を受けた石灰岩について，方解石の粒径測定を行った結果をもとに検討した．この地域の石灰岩中の方解石の平均粒径は，貫入岩から約 700 m までは，接触部からの距離と指数関数的な関係にあることが分かった．700 m 以遠では平均

粒径は急激に減少するが，これは地下に分布する岩石や地下構造の違いによるものと考えられる．

また接触部へ向けて平均粒径が増大するに伴い，粒径分布が広がる傾向にあることも判明した．これは，接触部付近では石灰岩が貫入岩併入の際に圧力を受けたからである．

謝　辞

本研究を行うにあたり，九州大学理学部地球惑星科学教室の地球惑星物質科学講座の教官には，ゼミナール等において御指導，御助言を賜った．海洋底地球科学講座の佐野弘好博士，玉田恵美さんには薄片作製や写真撮影で，生物圏進化学講座の下山正一博士には統計処理に関して御助言をいただいた．また調査旅費の一部に松本奨学金を使用させていただいた．

以上の方々に厚くお礼申し上げる．

参考文献

BOCKSTIEGEL, G. (1966) : Eine einfache Formel zur Berechnung raumilicher Grossenverteilung aus durch Linearanalyse erhaltenen Daten. *Z. Metallkunde*, **57**, 647-652.

COVEY-CRUMP, S. J. and RUTTER, E. H. (1989) : Thermally-induced grain growth of calcite marbles on Naxos Island, Greece. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **101**, 69-86.

EXNER, H. E. (1972) : Analysis of grain- and particle-size distributions in metallic materials. *Int. Met. Reviews*, **17**, 258-425.

GRIGOR'EV, D. P. (1965) : *Ontogeny of Minerals*. Israel Prog. for Scientific Translations. 250 p.

JOESTEN, R. L. (1983) : Grain growth and grain-boundary diffusion in quartz from the Christmas Mountains (Texas) contact aureole. *Amer. J. Sci.*, **283 A**, 233-254.

——— and FISHER, G. W. (1988) : Kinetics of diffusion-controlled mineral growth in the Christmas Mountains (Texas) contact aureole. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **100**, 301-318.

——— (1991) : Kinetics of coarsening and diffusion-controlled mineral growth. In D. M. KERRICK (ed) : *Contact Metamorphism*. Reviews in Mineralogy, Vol. 26, 509-582. Min. Soc. America.

OLDGAAR, D. L. and EVANS, B. (1986) : Effect of second-phase particles on grain growth in calcite. *J. Amer. Ceram. Soc.*, **69**, C 272-C 277.

酒井　彰・寺岡易司・宮崎一博・星住英夫・坂巻幸雄 (1993)：三重町地域の地質．地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅）．地質調査所，115 p.

TULLIS, J. and YUND, R. A. (1982) : Grain growth kinetics of quartz and calcite aggregates. *J. Geol.*, **90**, 301-318.

WIRTH, R. (1985) : The influence of the low-high quartz transformation on recrystallization and grain growth during contact metamorphism (Traversella intrusion, North Italy). *Tectonophys.*, **120**, 107-117.